



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS
UNIZAR A TRAVÉS DE DATOS SUMINISTRADOS POR LA
OFICINA VERDE 2015-2018

STUDY OF ENERGY EFFICIENCY IN UNIZAR BUILDINGS
THROUGH DATA PROVIDED BY THE GREEN OFFICE 2015-
2018

Autor

Pablo Adiego Monforte

Directora

Belén Zalba Nonay

Universidad de Zaragoza / Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2020

RESUMEN

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS UNIZAR A TRAVÉS DE DATOS SUMINISTRADOS POR LA OFICINA VERDE 2015-2018

Este trabajo fin de grado incluye dos partes diferentes. La primera se basa en la recopilación de información para conocer la situación energética mundial y europea hasta llegar a un estudio más específico en España, analizando el consumo y eficiencia energética de edificios universitarios. Esta primera parte la componen, principalmente, los capítulos 1 y 2.

En el primer capítulo se explica el acuerdo de La Universidad de Zaragoza (Unizar) con el cumplimiento de los ODS, especialmente los relacionados con la energía. Se expone el contexto global del sector energético. Se explica la importancia de realizar auditorías energéticas. Finalmente, se realiza un análisis de la evolución de la normativa en Europa y España. En el segundo capítulo se explican los aspectos relativos a la certificación de eficiencia energética en edificios, justificando la utilización de programas de simulación térmica para el cálculo del rendimiento energético. Se destaca la brecha existente entre el consumo energético real y el calculado mediante la simulación del edificio.

La segunda parte se centra en el análisis del comportamiento energético de varios edificios de Unizar. El objetivo principal se basa en averiguar que edificios tienen mejores ratios de consumo y coste energético por unidad de superficie. Además, se comparan las ratios de consumo obtenidas en los edificios de Unizar con diferentes criterios (CTE 2019, edificio Passivhaus y estudio IDAE de edificios universitarios) para comprobar si estos valores son razonables. Esta segunda parte incluye el capítulo 3.

En el tercer capítulo se estudian diferentes factores que influyen en el consumo y la eficiencia energética de los edificios de Unizar en los últimos años (2015-2018), partiendo de los datos suministrados por la Oficina Verde. Se destaca el uso y consumo de las instalaciones de climatización.

A continuación, en el cuarto capítulo se exponen las conclusiones finales del trabajo divididas en generales (capítulo 1 y 2) y específicas (capítulo 3). Las conclusiones generales se han extraído mediante el análisis y la búsqueda de información en diferentes fuentes bibliográficas.

Se han extraído varias conclusiones específicas importantes. Se ha reflejado que los edificios que utilizan bombas de calor con intercambio con agua del subsuelo (Ada Byron, Betancourt, Lorenzo Normante) tienen costes del orden de la mitad que los edificios que usan enfriadoras condensadas por aire para refrigeración y calderas de gas natural para calefacción. Se ha evidenciado que varios edificios (Edificio I+D, Facultad de Derecho, Facultad y Hospital de Veterinaria, Facultad de Medicina y Paraninfo) con un elevado consumo de energía primaria podrían necesitar una auditoría energética para realizar acciones de mejora y reducir su consumo, mientras que otros (Betancourt, Bellas Artes) tienen bajos ratios de consumo y pueden servir de referencia para futuros edificios universitarios. Se ha puesto de manifiesto la importancia de monitorizar los consumos en stand-by, especialmente en el Edificio I+D.

Finalmente, se establecen una serie de propuestas de mejora y líneas de futuro que podrían ser recomendables en los edificios universitarios de Unizar para seguir avanzando en el análisis del aumento de la eficiencia y ahorro energético.

Agradecimientos:

Quiero dar las gracias a varias personas que han participado y facilitado la realización de este trabajo fin de grado.

Por un lado, agradecer a David Cambra y la Oficina Verde la aportación de información relevante en torno a la cual ha girado la mayor parte del trabajo. Además de su total disponibilidad y colaboración tanto para revisar la evolución del trabajo como para estar presente en varias reuniones realizadas a través de google meet que han sido de gran ayuda.

También quiero agradecer a Belén su continua implicación en el trabajo a pesar de la situación tan difícil que nos ha tocado vivir. Su experiencia y conocimiento han sido indispensables para avanzar, dar forma y mejorar paulatinamente el trabajo.

Por último, dar las gracias a mi familia y amigos por todo el apoyo recibido a lo largo del trabajo.

Tabla de contenido

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN, METODOLOGÍA Y OBJETIVOS	6
1. ESTADO DEL ARTE.....	8
1.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	8
1.2. Contexto energético	9
1.3. Auditoría energética y Sistema de Gestión de la Energía	10
1.4. Evolución de la normativa	11
1.5. Conclusiones.....	12
2. CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA Y SIMULACIÓN TÉRMICA EN EDIFICIOS.....	13
2.1. Introducción	13
2.2. Situación en la Unión Europea	13
2.3. Situación en España	14
2.4. Etiqueta de eficiencia energética	15
2.5. Conclusiones.....	15
3. CONSUMO DE ENERGÍA EN EDIFICIOS	16
3.1. Edificios Unizar (datos Oficina Verde).....	16
3.2. Consumo energía eléctrica.....	17
3.2.1. Auditoría energética Edificio I+D.....	20
3.2.2. Consumo stand-by	20
3.2.3. Consumo energía eléctrica por superficie útil	22
3.2.4. Comparación con otras universidades	22
3.3. Consumo de gas natural	23
3.3.1. Consumo gas natural por superficie útil	25
3.3.2. Comparación con otras universidades	26
3.4. Consumo de energía primaria.....	27
3.4.1. Energía eléctrica.....	27
3.4.2. Gas natural.....	30
3.4.3. Total	32
3.5. Emisiones de CO ₂	33
3.5.1. Emisiones energía eléctrica	33
3.5.2. Emisiones gas natural	35
3.5.3. Emisiones totales	37
3.6. Análisis económico	38
3.6.1. Energía eléctrica.....	38
3.6.2. Gas natural.....	39
3.6.3. Total	40
3.7. Comparativa general edificios	42
3.7.1. Sistemas de climatización	42
3.7.2. Energía eléctrica.....	42
3.7.3. Gas natural.....	43
3.7.4. Conclusiones.....	44

3.8. Influencia del clima	46
3.9. Edificio Betancourt	49
3.9.1. Consumo eléctrico total	49
3.9.2. Consumo climatización.....	52
3.9.3. Línea base energética.....	53
3.9.4. Cerramientos exteriores.....	55
3.10. Condiciones interiores y ocupación	55
3.10.1. SeñalizAR (UZ)	56
3.10.2. Condiciones interiores en el campus Río Ebro	56
3.11. Conclusiones.....	56
4. CONCLUSIONES.....	58
5. RECOMENDACIONES Y LÍNEAS DE FUTURO	61
BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS.....	69
Anexo I: Marco normativo en la Unión Europea	69
Anexo II: Marco normativo en España.....	70
Anexo III: Certificación energética en edificios.....	72
Anexo IV: Modelo de etiqueta de eficiencia energética en edificios	75
Anexo V: Auditoría energética Edificio I+D.....	76
Anexo VI: Superficie útil de los edificios de La Universidad de Zaragoza.....	77
Anexo VII: Coeficientes de paso a energía primaria y factores de emisión de CO ₂	78
Anexo VIII: Análisis del consumo de energía en los edificios de La Universidad de Zaragoza	82
Anexo IX: Sistemas de climatización en La Universidad de Zaragoza.....	96
Anexo X: Líneas base energéticas.....	97
Anexo XI: Informe de satisfacción en el campus Río Ebro	100
Anexo XII: Condiciones exteriores, interiores y perfil de ocupación del edificio Betancourt	102

INTRODUCCIÓN, METODOLOGÍA Y OBJETIVOS

El objetivo principal del siguiente trabajo es el estudio y análisis del comportamiento energético de distintos edificios educativos de La Universidad de Zaragoza. Para la realización de este análisis se ha contado con información proporcionada por la Oficina Verde relativa al consumo de energía en estos edificios.

La metodología seguida en la realización del TFG se basa en dos bloques muy diferenciados. El primero consiste en una recopilación de información sobre la situación energética global y la eficiencia energética en edificios. En esta parte lo que se busca es plantear el contexto general del trabajo, extrayendo una serie de conclusiones generales. El segundo bloque se centra en el análisis de los datos suministrados por la Oficina Verde con el objetivo final de establecer unas conclusiones específicas sobre el consumo energético en los edificios de Unizar. En la figura 1 se muestra esta metodología.

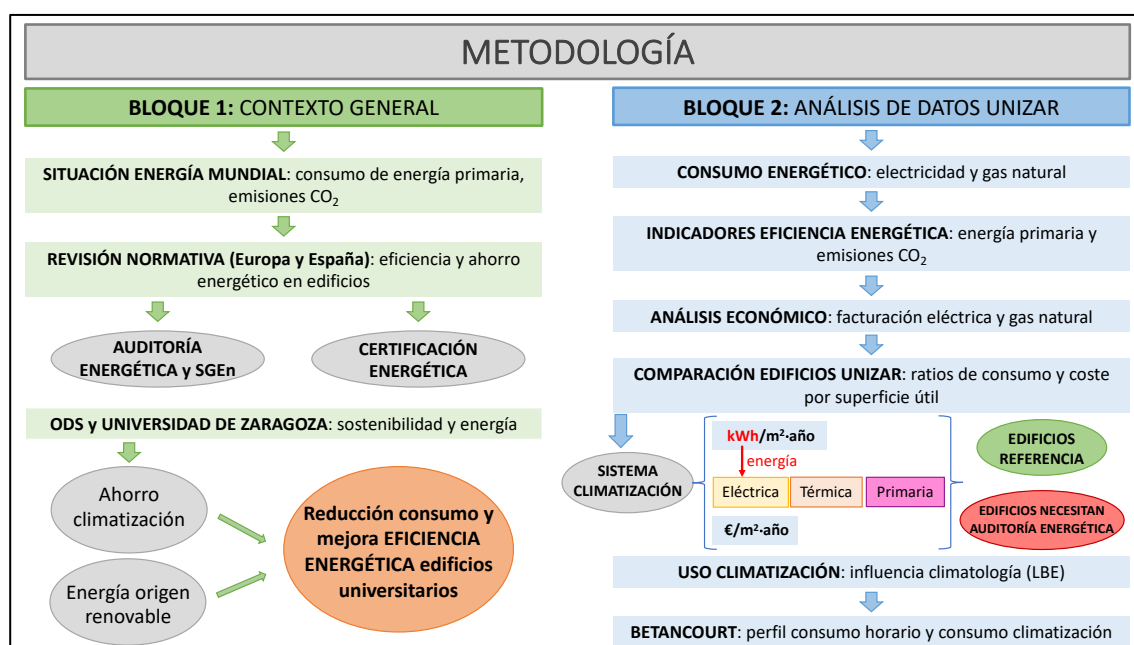


Figura 1. Metodología del trabajo fin de grado. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en este esquema, se parte de lo general para llegar a lo concreto. En el primer bloque una vez expuesto el panorama energético mundial, se revisa la normativa de la Unión Europea y España relativa a la eficiencia y ahorro energético en edificios. Se destaca la utilidad que puede tener la realización de auditorías y certificaciones energéticas en edificios universitarios para conseguir una mejora de la eficiencia energética y cumplir con los ODS.

En la segunda parte del trabajo se calculan varios indicadores energéticos (emisiones de CO₂, consumo energético y coste por unidad de superficie) de los edificios de Unizar. Estos resultados se relacionan con varios factores como el uso de las instalaciones de climatización, los distintos sistemas de climatización utilizados, las condiciones interiores o la ocupación de los edificios universitarios.

El objetivo final de este trabajo se basa en la identificación de edificios que puedan servir de referencia para la construcción o remodelación futura de otros edificios universitarios. También se indican aquellos edificios que pueden necesitar una revisión de su sistema energético.

1. ESTADO DEL ARTE

1.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible

La Universidad de Zaragoza en mayo de 2018 firmó la Declaración de Salamanca, en la que se compromete a integrar las 169 metas que componen los ODS. Para seguir la evolución y el desarrollo de la Agenda 2030 en La Universidad de Zaragoza se ha elaborado un informe “La Universidad de Zaragoza y el seguimiento de la Agenda 2030” [1].

El principal objetivo es transformar La Universidad de Zaragoza en un entorno sostenible para toda la comunidad universitaria y servir de ejemplo para toda la comunidad autónoma de Aragón. Todo esto se expone en el “Plan de Desarrollo Sostenible 2011-2030” [2].

En la figura 2 se muestran los ODS relacionados con este TFG encaminados al ahorro de energía y la integración de la sostenibilidad en actividades de investigación y docencia de La Universidad de Zaragoza.



Figura 2. ODS relacionados con el TFG. Fuente: elaboración propia

A través del seguimiento de los objetivos que se muestran en la figura 2 lo que se quiere conseguir es un aumento de la eficiencia energética en los edificios Unizar. Por lo tanto, se debe establecer un sistema de gestión y ahorro energético.

1.2. Contexto energético

En el año 2018 se produjo un crecimiento del consumo mundial de energía primaria de un 2.9% respecto al año anterior, casi el doble que su promedio de los últimos 10 años (1.5% por año) y el más rápido desde 2010. Los combustibles fósiles también crecieron más rápido que sus promedios de los últimos 10 años. También se produce un aumento de las emisiones de carbono del 2%, siendo este el más rápido en siete años [3]. En la figura 3 se observa lo mencionado.

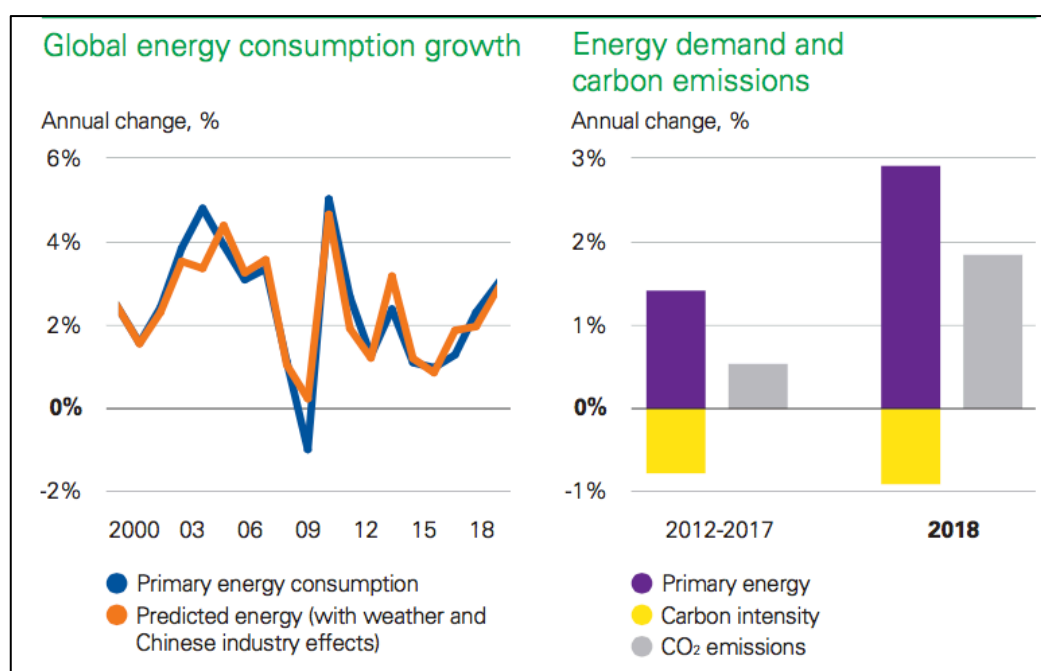


Figura 3. Crecimiento del consumo de energía primaria global y la relación de la demanda de energía y las emisiones de CO₂. Fuente: BP Statistical Review of World Energy.

En España, en el año 2018, el consumo energético creció un 1.8%, manteniendo la tendencia ascendente iniciada en 2015. Por el contrario, se produjo una reducción de las emisiones de CO₂ de un 1.6% [4]. En la figura 4 se muestra la distribución de energía primaria en España.

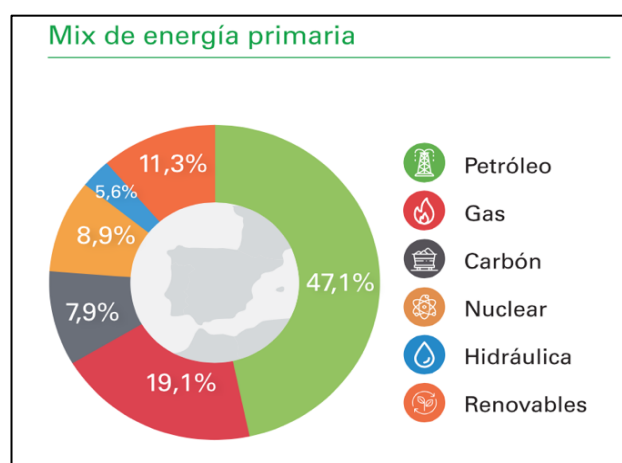


Figura 4. Distribución del uso de energía primaria en España. Fuente: BP Statistical Review 2018

Centrándonos en la situación del sector de la edificación en España, este tiene un peso del 31,03% en el consumo de energía final, repartido en un 18,5% en el sector de la edificación residencial y un 12,5% en el sector no residencial [5], donde están incluidos la mayoría de los edificios educativos, objetivo principal de este trabajo.

Según un estudio llevado a cabo por IDAE [6], el sector de las universidades en 2010 representó el 0,2% del consumo de energía final en España, suponiendo el consumo eléctrico un 0,43% del consumo de electricidad nacional, mientras que los consumos térmicos solo engloban un 0,08%. Dentro del sector Comercio, Servicios y Administraciones Públicas, las universidades representan un 1,5% de la energía eléctrica total y el 2% de la energía térmica.

Una vez realizado el análisis de la situación energética global, se puede decir que los principales objetivos a seguir son la reducción de la demanda energética, el aumento del uso de energías renovables y una mejora de la eficiencia energética en edificios. La realización de auditorías energéticas puede facilitar la consecución de estas metas.

1.3. Auditoría energética y Sistema de Gestión de la Energía

Según la norma UNE 16247-1:2012 [7] una auditoría energética se define como la “inspección y análisis sistemáticos del uso y consumo de energía en un edificio con el objetivo de identificar e informar acerca de los flujos de energía y del potencial de mejora de la eficiencia energética”.

En la norma UNE 16247-2:2014 [8] se especifican los requisitos generales y la metodología a seguir para llevar a cabo auditorías energéticas en edificios. La auditoría energética debe ser realizada por un auditor energético correctamente cualificado que cubra el alcance, complejidad y nivel de detalle de la auditoría.

Se deben seguir unas determinadas fases a la hora de llevar a cabo una auditoría energética. Primero se realiza un contacto preliminar donde el auditor debe identificar todas las partes que van a intervenir en el proceso de auditoría energética y sus funciones. Después se produce la reunión inicial entre el auditor y la organización. Una vez puestos de acuerdo, se lleva a cabo la recopilación de datos en función del alcance de la auditoría. Cuando ya se ha recabado la información llega el trabajo de campo donde se inspecciona el emplazamiento y se evalúa el nivel de servicio de los sistemas técnicos. Posteriormente, se produce el análisis del potencial de ahorro energético de acuerdo con el alcance y el objeto de la auditoría. Todo lo mencionado anteriormente debe registrarse en un informe relevante para el personal técnico y el ejecutivo. Finalmente, en una reunión final se presentan y explican los resultados obtenidos. En la figura 5 se explica el proceso de manera esquemática.



Figura 5. Proceso de una auditoría energética. Fuente: elaboración propia en base a la norma UNE 16247-2:2014

En el [Anexo II](#) (Situación en España RD 56/2016) se explica la situación en España respecto al cumplimiento del RD 56/2016.

1.4. Evolución de la normativa

Se va a realizar un análisis de la normativa relativa a la eficiencia y el ahorro energético, especialmente en edificios, al estar relacionado con varios puntos tratados en este trabajo. En la figura 6 se puede ver de manera esquemática.

EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA									
Unión Europea									
1993	2002	2006	2009	2010	2012	2016	2018	2019	
Limitación de emisiones de CO ₂ mediante la mejora de la eficacia energética	Eficiencia energética de los edificios	Eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos	Fomento del uso de energía de fuentes renovables	Eficiencia energética de los edificios	Eficiencia energética	Promover edificios de consumo energético casi nulo (nZEB)	Acelerar la renovación rentable de edificios existentes	Renovación de edificios y transposición de las obligaciones de ahorro de energía	
Directiva 93/76/CEE	Directiva 2002/91/CE/EPBD	Directiva 2006/32/CE	Directiva 2009/28/CE	Directiva 2010/31/UE/EPBD Directiva 2010/30/UE	Directiva 2012/27/UE	Recomendación 2016/1318/UE	Directiva 2018/844/UE Directiva 2018/2002/UE	Recomendación 2019/786/UE Recomendación 2019/1658/UE	
España									
1999	2006	2007	2009	2011	2013	2016	2017	2018-2019	
Nacimiento del CTE	Aprobación del CTE	Aprobación de la certificación energética de los edificios y del RITE	Modificación del RITE	Requisitos de Sistemas de Gestión de Energía	Certificación de la eficiencia energética de los edificios y modificación del CTE y RITE	Auditorías energéticas en empresas grandes cubriendo 85 % del consumo	Modificación del CTE y certificación de la eficiencia energética de los edificios	Modificación del CTE y Sistemas de Gestión de la Energía	
Ley 38/1999	RD 314/2006	RD 47/2007 RD 1027/2007 (RITE)	RD 1826/2009	ISO 50001/2011	RD 235/2013 FOM/1635/2013 (CTE) RD 238/2013 (RITE)	RD 26/2016	FOM 588/2017 (CTE) RD 564/2017	RD 732/2019 ISO 50001/2018	
EPBD - Energy Performance of Buildings Directive CTE - Código Técnico de la Edificación					nZEB - Nearly Zero Energy Buildings RITE - Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios				

Figura 6. Cronología de la normativa relacionada con la energía en la Unión Europea y España. Fuente: elaboración propia

En la Unión Europea hay que empezar por la Directiva 2002/91/CE/EPBD [9] por la que se obliga a los países europeos a cumplir unos requisitos mínimos de eficiencia energética en los edificios. Estas exigencias relativas a la eficiencia energética en los edificios se transpusieron en España en el Real Decreto 314/2006 [10] constituyendo la base del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE). Al año siguiente, también a partir de la Directiva 2002/91/CE/EPBD [9], surgen el Real Decreto 47/2007 [11] por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción y el Real Decreto 1027/2007 [12] por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).

En 2010, la Directiva 2002/91/CE [9] se modifica mediante la Directiva 2010/31/UE [13] por la que todos los edificios nuevos sean de consumo de energía casi nulo en 2020. Debido a esta actualización, se hace otra revisión del DB-HE mediante la orden FOM/1635/2013 [14] para introducir modificaciones en la estructura de las exigencias básicas para adaptarlas a la normativa europea y se actualiza la definición de edificio de consumo de energía casi nulo. Como consecuencia, mediante el Real Decreto 235/2013 [15] se transpone parcialmente la Directiva 2010/31/UE [13] y se refunde el RD 47/2007 [11] incorporando el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de edificios existentes.

En España, en 2016, se aprueba el Real Decreto 56/2016 [16], por el que se transpone en Europa la Directiva 2012/27/UE [17]. En este RD se proclama la obligatoriedad a las empresas grandes de someterse a una auditoría energética.

La Directiva 2018/844/UE [18] modifica las dos anteriores 2010/31/UE [13] y 2012/27/UE [17]. Este documento se centra en la renovación del parque inmobiliario existente para reducir el consumo de energía en los edificios y la dependencia energética del exterior.

En el [Anexo I](#) y [Anexo II](#) se amplía información sobre las directivas referentes a la Unión Europea y España, respectivamente.

1.5. Conclusiones

En este primer capítulo se explica la importancia que tienen los ODS en la consecución de un mundo más sostenible con la vista puesta en 2030. A partir de 2018 La Universidad de Zaragoza se compromete a asumir e incorporar estos 17 ODS en la comunidad universitaria, siendo la energía uno de sus principales focos de acción. Esto está relacionado con la situación energética global de los últimos años, ya que se sigue una tendencia de crecimiento del consumo de energía primaria, del uso de combustibles fósiles y de las emisiones de CO₂. Por tanto, los objetivos prioritarios se basan en la reducción del consumo energético y emisiones de CO₂, el aumento del uso de energías renovables y una mejora de la eficiencia y rendimiento energético en edificios.

Se muestra que la situación en España respecto al cumplimiento del RD 56/2016 es mejorable. Finalmente, se pone de manifiesto la importancia de realizar auditorías y certificaciones energéticas en edificios.

2. CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA Y SIMULACIÓN TÉRMICA EN EDIFICIOS

2.1. Introducción

En la Unión Europea mediante la Directiva 2010/31/UE [13] se implanta un sistema para la certificación de eficiencia energética de los edificios nuevos y existentes.

Para llevar a cabo la certificación los Estados miembro de la UE desarrollaron varias metodologías de cálculo. La mayoría de países optaron por la simulación del edificio mediante un software de modelado térmico para determinar su rendimiento energético. Se necesita definir las condiciones de funcionamiento del edificio que son desconocidas en el diseño de nuevos edificios o difíciles de medir en edificios existentes. Estas incertidumbres pueden comprometer la precisión de los cálculos de rendimiento energético. Es difícil identificar que proporción de la discrepancia entre el uso real de energía y el calculado se debe a desviaciones de las condiciones operativas estandarizadas y que proporción se debe a temas relacionados con la construcción del edificio.

2.2. Situación en la Unión Europea

Varios estudios han corroborado la diferencia entre el rendimiento energético de los edificios calculado con el software de simulación y su rendimiento energético real [19]. Entre 1995 y 1999 se llevó a cabo un estudio de 16 edificios no domésticos, concluyendo que el consumo de energía real era el doble que el consumo de energía calculado en la simulación [20]. Otro estudio realizado en 2007 en centros educativos del Reino Unido, evidenció que en el 80% de los edificios estudiados se tenían unos porcentajes promedio entre 57% y 66% mayores de consumo de energía real sobre el consumo estimado [21]. Otro estudio realizado en 28 propiedades en Reino Unido evidenció un uso de energía operacional casi cinco veces mayor que el estimado [22].

También se han realizado estudios para edificios no residenciales en otros países europeos como Italia [23] y Dinamarca [24] que han mostrado discrepancias de hasta un 30% entre el consumo de energía real y el simulado. Estos resultados siguen la tendencia de los resultados obtenidos por CarbonBuzz, que muestran desviaciones del 40% para oficinas y 30% para edificios educativos [25].

En el [Anexo III](#) (GAP consumo de energía real y simulado) se explican detalladamente las posibles causas de esta discrepancia.

2.3. Situación en España

En 2013 en España se transpone la Directiva 2010/31/UE [13] mediante el Real Decreto 235/2013 [15] por el que se establece el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios ya existentes que se vayan a vender o alquilar, además de los edificios nuevos.

En el [Anexo III](#) (Programas de simulación) se explican de forma detallada los programas informáticos más habituales para la certificación energética de edificios.

En 2016, en La Universidad de Zaragoza se llevó a cabo un estudio [26] sobre la diferencia entre el consumo de energía real y el estimado. Se realizó la certificación energética de 21 edificios universitarios con el software CALENER GT, comparando los resultados obtenidos en la simulación con medidas reales. En el [Anexo III](#) (Estudio en La Universidad de Zaragoza) se muestran los datos introducidos en esta simulación para llevar a cabo la certificación.

Los resultados de este estudio siguen la tendencia de los obtenidos en estudios de otros países europeos. El consumo promedio de energía real es un 30% mayor que el consumo de la simulación, siendo más importantes las desviaciones en los edificios de investigación (45%) que en los edificios académicos (23%), esto se debe principalmente a la influencia de los equipos informáticos y de laboratorio en el consumo de energía, especialmente en el caso de los edificios de investigación, ya que como se ha mencionado anteriormente, estos equipos no pueden implementarse en el software de simulación.

En la tabla 1 se indican los consumos de energía (gas natural y electricidad) obtenidos en la simulación y los provenientes de las facturas de servicios públicos (reales). Los edificios A corresponden a los académicos y la R hace referencia a los de investigación.

Consumo (kWh/m ² -año)	Gas natural		Electricidad		Desviación total
EDIFICIOS	Simulación	Real	Simulación	Real	%
A1 (Facultad de Educación)	39,7	0,0	79,9	0,0	-
A2 (Betancourt)	0,0	0,0	50,6	75,3	-32,8%
A3 (Lorenzo Normante)	0,0	0,0	62,9	71,6	-12,2%
A4 (Ada Byron)	0,0	0,0	69,1	52,9	30,6%
A5 (Biblioteca Económicas)	0,0	0,0	36,4	40,3	-9,7%
A6 (Facultad Derecho, principal)	69,4	42,8	29,6	95,4	-28,4%
A7 (Facultad Derecho, aulario)	62,7	42,8	67,9	95,4	-5,5%
A8 (Facultad Ciencias de la Salud)	42,6	75,4	53,0	45,1	-20,7%
A9 (Facultad Estudios Sociales)	32,1	69,3	57,6	33,1	-31,9%
A10 (Politécnica Huesca)	62,8	64,0	28,5	37,3	-9,9%
A11 (Polideportivo Río Isuela Huesca)	107,6	98,7	82,7	54,0	24,6%
A12 (Bellas Artes Teruel)	44,8	21,2	44,0	37,1	52,3%
A13 (Pablo Serrano Teruel)	169,3	233,7	76,8	162,3	-37,9%
A14 (Vicerrectorado Teruel)	47,5	86,5	44,1	40,9	-28,1%
A15 (Residencia niños Huesca)	26,5	30,3	61,8	54,2	4,5%
R1 (Edificio I+D)	89,2	77,3	42,2	302,8	-65,4%
R2 (Torres Quevedo)	40,8	66,0	34,9	89,7	-51,3%
R3 (Ciencia y Tecnología de los Alimentos)	0,0	21,2	46,9	37,1	-19,6%
R4 (Naves Institutos I+D)	73,3	96,8	15,3	24,0	-26,7%
R5 (Circe)	17,9	29,6	17,7	102,5	-73,1%
R6 (Facultad Ciencias Químicas)	39,5	61,2	58,5	93,0	-36,4%

*Tabla 1. Comparación consumo teórico y real de edificios de la Universidad de Zaragoza.
Fuente: [26]*

Por lo tanto, se ha comprobado como esta brecha entre el consumo energético real y simulado sigue siendo evidente en la actualidad. De esta manera, una opción para analizar la eficiencia y el consumo energética de forma correcta y fiable puede ser la realización de auditorías energéticas en los edificios.

2.4. Etiqueta de eficiencia energética

La certificación energética de un edificio se expresa de forma resumida a través de una etiqueta energética, que indica el nivel de calificación de eficiencia energética obtenida en el edificio siguiendo una escala desde la A (mayor eficiencia) hasta la G (menor eficiencia), teniendo en cuenta indicadores de las emisiones de CO₂ y de consumo de energía primaria. La etiqueta de eficiencia energética debe exhibirse obligatoriamente en un lugar destacado y claramente visible por el público. Entre los edificios que deben cumplir esto se encuentran los edificios universitarios. En el [Anexo IV](#) se especifica toda la información que debe introducirse en una etiqueta energética de un edificio.

2.5. Conclusiones

En este apartado se ha analizado la situación en la UE y España de la certificación energética en edificios. El principal método seguido se basa en la simulación térmica de los edificios a través de un software de modelado para determinar su consumo y rendimiento energético. Tras la revisión de varios estudios se evidencia como el consumo de energía calculado mediante la simulación es menor que el consumo de energía real, reflejando que la desviación es mayor en edificios de investigación que en edificios académicos.

3. CONSUMO DE ENERGÍA EN EDIFICIOS

La identificación de los principales usos energéticos en los edificios es cada vez más importante para la gestión de la energía. Existen una serie de factores influyentes en el consumo de energía en un edificio: las condiciones climáticas exteriores, las características de la envolvente del edificio, las condiciones de confort interior diseñadas, las características y la configuración de los sistemas técnicos, las actividades y los procesos del edificio y el comportamiento de los ocupantes [8].

La contabilidad energética sirve para controlar la demanda y los costes energéticos en edificios. Con la implantación de un sistema de contabilidad energética bien estructurado en edificios universitarios se pueden conseguir ahorros energéticos de hasta un 20% [27].

3.1. Edificios Unizar (datos Oficina Verde)

Se va a estudiar el comportamiento energético de distintos edificios de La Universidad de Zaragoza (Unizar) distribuidos en el campus Río Ebro, San Francisco, Veterinaria y Teruel durante 2015-2018. No se ha analizado el campus de Huesca debido a la menor disponibilidad de datos sobre sus edificios.

Para la realización de este análisis, la Oficina Verde de Unizar ha facilitado la siguiente información:

- Consumos diarios y mensuales de energía eléctrica y gas natural.
- Facturación económica real del consumo de electricidad y gas natural.
- Condiciones climáticas exteriores: temperaturas diarias.
- Horas diarias de funcionamiento de las instalaciones de climatización.

En el análisis de estos datos, en coherencia con lo expuesto en el documento 'Guía de buenas prácticas en edificios universitarios' [27], se va a utilizar una serie de ratios que caracterizan el comportamiento energético de los edificios universitarios.

- Consumo energético: kWh/m²·año

- Emisiones CO₂: kgCO₂/m²·año
- Análisis económico: €/m²·año

3.2. Consumo energía eléctrica

Antes de analizar la evolución del consumo de energía eléctrica de varios edificios de Unizar durante 2015-2018, se va a mostrar en la figura 7 la distribución en La Universidad de Zaragoza los años anteriores (2011-2015). En este tiempo se registra una reducción de consumo superior a 7 millones de kWh, consiguiendo un descenso del 22,5%. Este resultado refleja el gran esfuerzo llevado a cabo en la Oficina Verde para conseguir disminuir el consumo de energía eléctrica en La Universidad de Zaragoza.

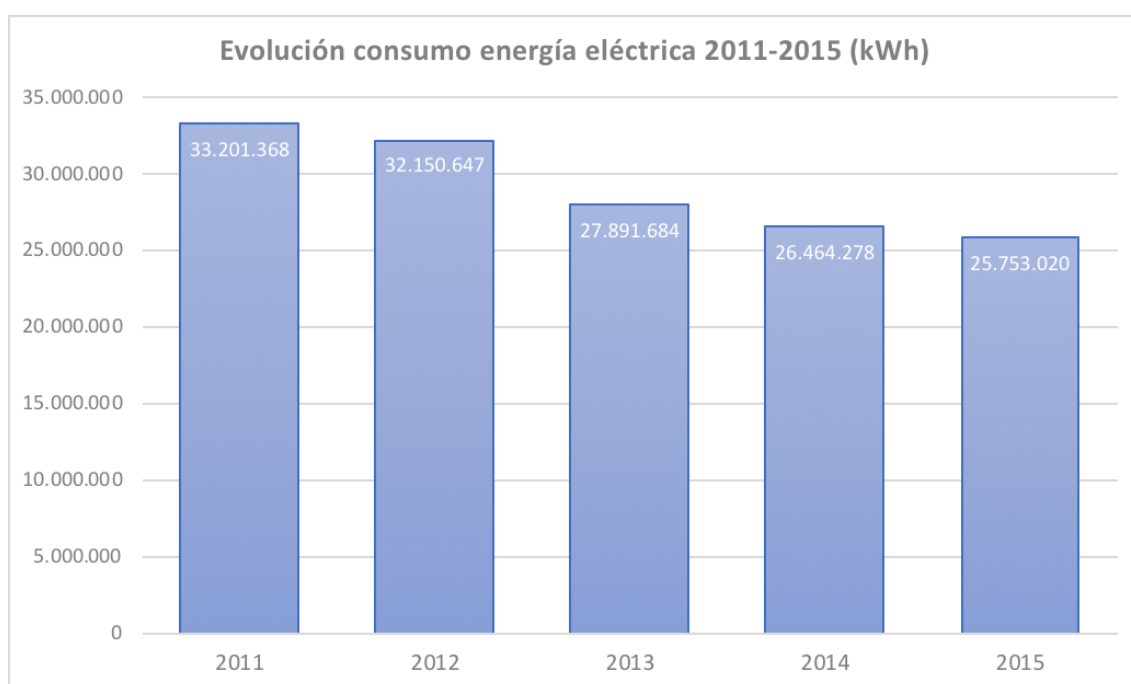


Figura 7. Evolución del consumo eléctrico de los edificios Unizar en los años 2011-2015. Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestra la evolución del consumo eléctrico total, incluyendo climatización, iluminación y alumbrado exterior, servicios auxiliares y de oficina (aparatos eléctricos y electrónicos) y stand-by de varios edificios Unizar estudiados desde el año 2015 hasta 2018. En la figura 8 podemos observar como el consumo ha ido aumentando cada año, siguiendo la tendencia de los últimos años a nivel mundial y en España. En estos últimos 4 años este crecimiento del consumo ha sido de un 4,6%.

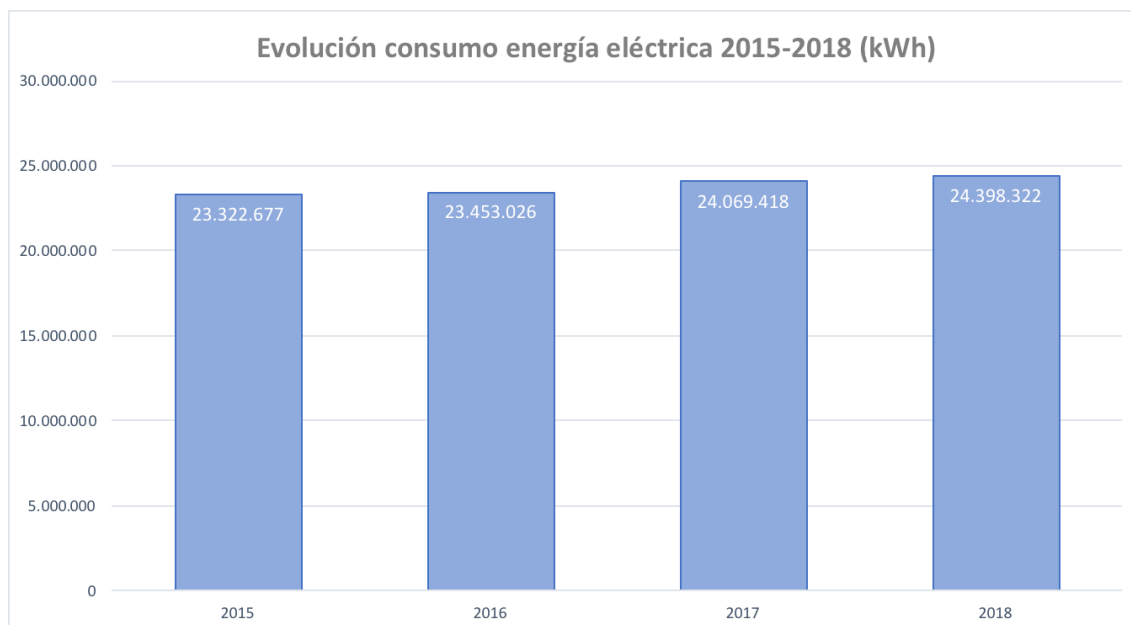


Figura 8. Evolución del consumo eléctrico de los edificios Unizar en los años 2015-2018. Fuente: elaboración propia

A continuación, en la tabla 2 se analiza la forma en que este consumo de energía se distribuye en los distintos campus universitarios por porcentaje durante estos 4 años.

Consumo (kWh)	2015		2016		2017		2018	
SAN FRANCISCO	10.234.848	43,9%	9.888.571	42,2%	10.227.132	42,5%	10.456.152	42,9%
RÍO EBRO	9.459.355	40,6%	9.953.098	42,4%	10.214.505	42,4%	10.264.712	42,1%
VETERINARIA	2.722.907	11,7%	2.697.081	11,5%	2.746.653	11,4%	2.795.512	11,5%
TERUEL	905.567	3,9%	914.276	3,9%	881.128	3,7%	881.946	3,6%
TOTAL	23.322.677	100%	23.453.026	100%	24.069.418	100%	24.398.322	100%

Tabla 2. Distribución del consumo eléctrico por campus universitarios en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

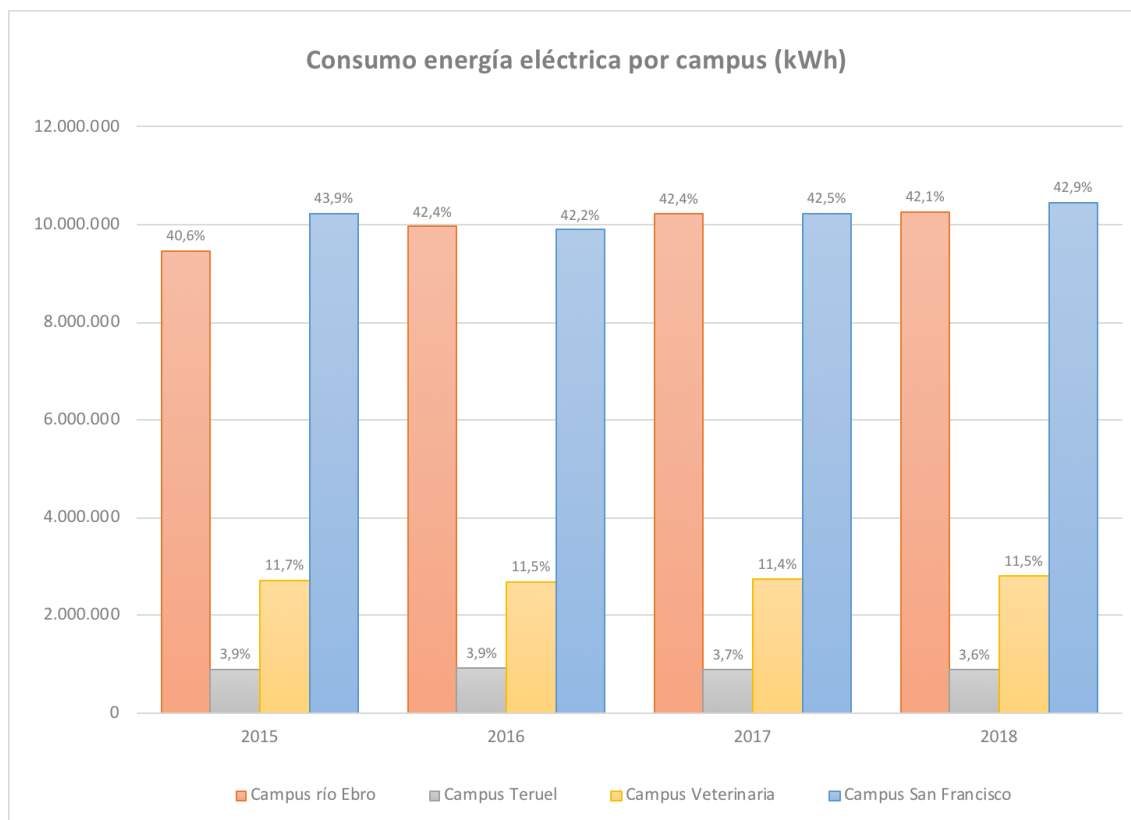


Figura 9. Evolución del consumo eléctrico por campus universitarios en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

En la figura 9 se puede ver como los campus Río Ebro y San Francisco son los que mayor porcentaje de consumo aglutinan. Esto se debe a la cantidad y el tamaño de los edificios en el campus San Francisco. En el caso del campus Río Ebro, por las características de investigación de alguno de sus edificios como el Edificio I+D.

Ahora, en la figura 10 se muestra como se ha distribuido el consumo eléctrico en los distintos edificios Unizar analizados en cada campus durante 2018.

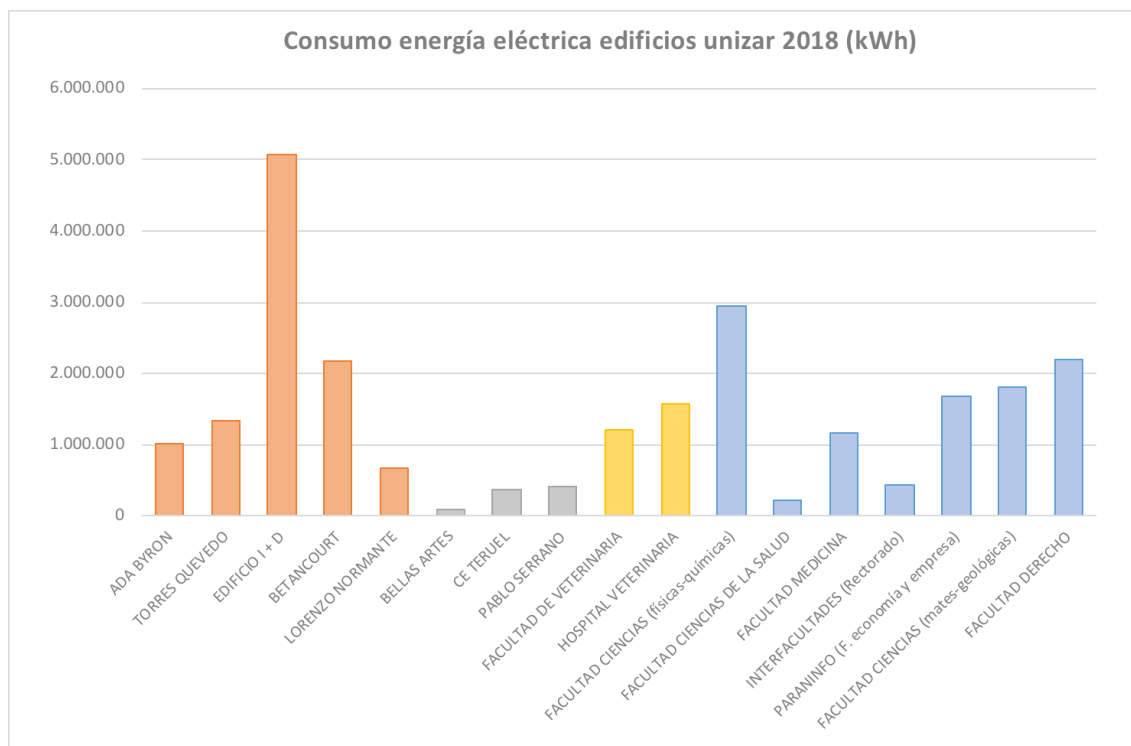


Figura 10. Consumo eléctrico de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración propia

Se puede observar como los edificios que contribuyen de manera más significativa al alto consumo del campus Río Ebro son el Edificio I+D y el Betancourt. En el campus San Francisco las Facultades de Ciencias y Derecho tienen los mayores consumos eléctricos. Una de las causas del alto consumo eléctrico en la Facultad de Ciencias (Matemáticas) es la existencia de uno de los CPD (centro de procesamiento de datos) de La Universidad de Zaragoza.

3.2.1. Auditoría energética Edificio I+D

Debido a las singularidades y al alto consumo eléctrico del Edificio I+D de investigación del campus Río Ebro, se ha analizado la auditoría energética de este edificio [28] llevada a cabo por la Fundación Circe (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos) en 2012 para ver las posibles causas de este consumo de electricidad tan elevado y su distribución. En el [Anexo V](#) se indican los aspectos más importantes extraídos de esta auditoría energética.

3.2.2. Consumo stand-by

Otro factor a tener en cuenta en el consumo eléctrico de los edificios universitarios son los consumos en stand-by en horario nocturno.

En la tabla 3 se muestra la demanda de potencia media en stand-by de varios edificios de Unizar en 2017 y se va a realizar una comparación con los valores obtenidos en marzo de 2020 durante la situación del Covid 19.

Potencia media STAND-BY	2017 (kW)	2020 (kW)	Evolución (%)
Edificio de Institutos I+D	490	499	1,8%
Facultad de Ciencias	200	197	-1,5%
Hospital de Veterinaria	160	127	-20,6%
Matemáticas-Geológicas	127	150	18,1%
Lorenzo Normante	125	26	-79,2%
Edificio Betancourt	90	95	5,6%
Paraninfo – F. de Economía y Empresa	82,5	89	7,9%
Facultad de Derecho	75	64	-14,7%
Facultad de Veterinaria	75	86	14,7%
Facultad de Medicina	60	64	6,7%
Torres Quevedo	60	-	-
Ada Byron	40	43	7,5%
Politécnica de Huesca	27,5	39	41,8%
Inter-Rectorado	26	23	-11,5%
CMU Pablo Serrano	25	26	4,0%
Centro de Estudios de Teruel	22	44	100,0%
F. Ciencias de la Salud	8	12	50,0%
Bellas Artes	7,5	13	73,3%

Tabla 3. Stand-by edificios Unizar en 2017 y 2020. Fuente: elaboración propia

En la figura 11 se aprecia claramente que el Edificio I+D tiene el mayor consumo en stand-by, englobando un 30% en 2017 y un 35% en 2020, ya que tiene gran cantidad de equipamiento informático en salas especiales y laboratorios.

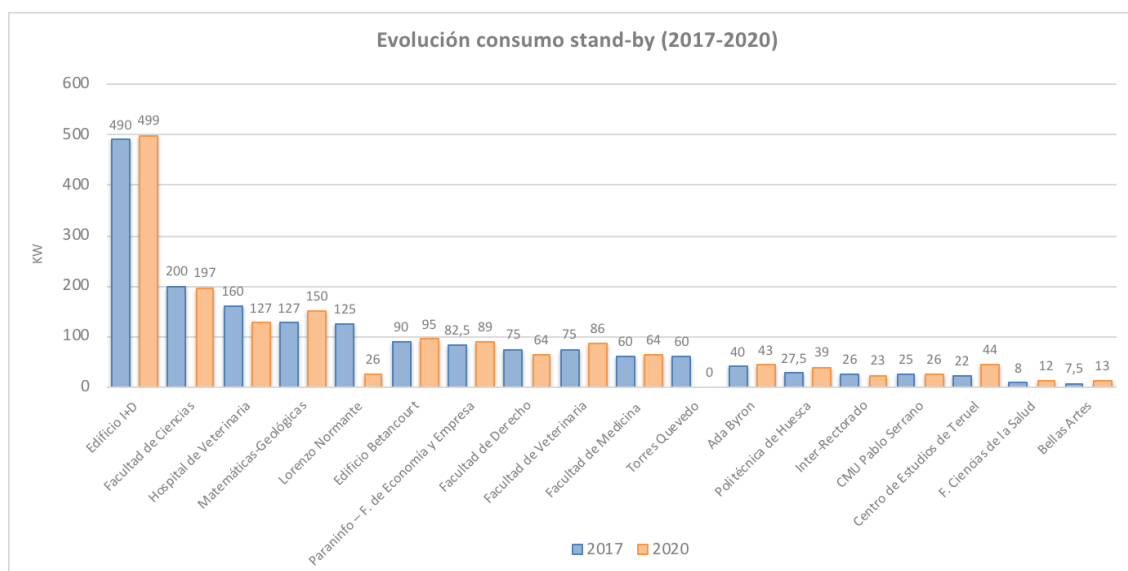


Figura 11. Stand-by edificios Unizar en 2017 y 2020. Fuente: elaboración propia

Otro resultado destacable es el descenso de la demanda en stand-by en el Lorenzo Normante, pasando de 125 kW en 2017 a 26 kW en 2020. Esta reducción ha sido posible gracias al seguimiento de las bombas de pozo que se quedaban encendidas por mal

funcionamiento. La Facultad de Ciencias de la Salud y Bellas Artes son los edificios con menor potencia media demandada en stand-by.

3.2.3. Consumo energía eléctrica por superficie útil

En la figura 12 se muestran los ratios de consumo eléctrico ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$) de cada edificio de Unizar en 2018.

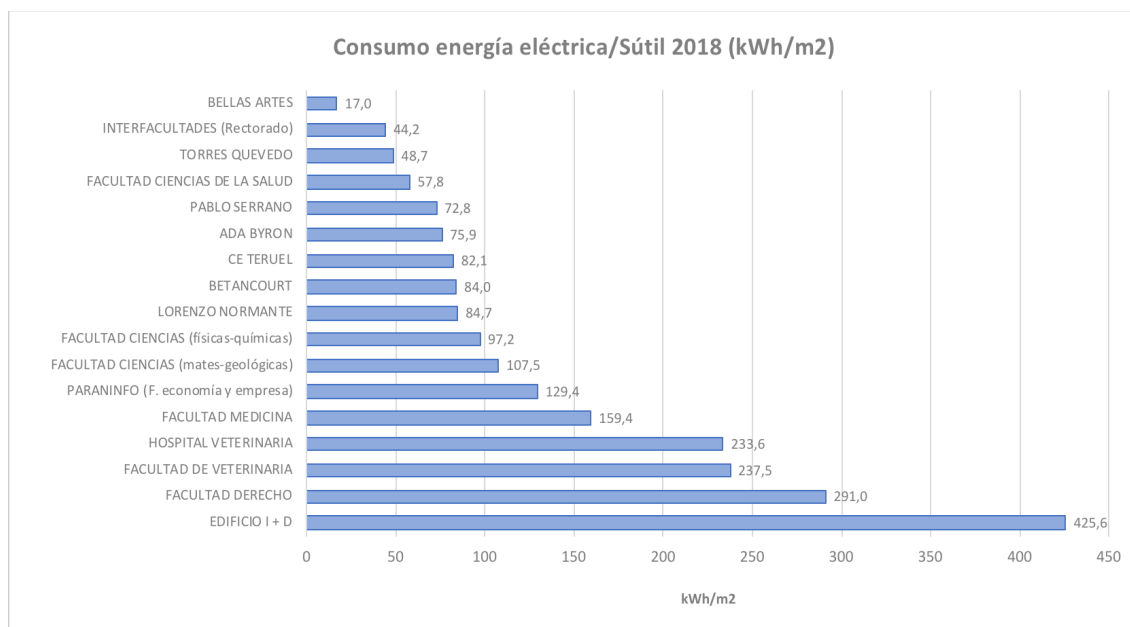


Figura 12. Consumo eléctrico por superficie útil de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración propia

El mayor consumo por superficie útil se tiene en el Edificio I+D. Al ser un edificio dedicado a la investigación, gran parte de este consumo eléctrico se destina al equipamiento informático y material técnico de laboratorios.

Hay varios edificios del campus Río Ebro que tienen una ratio similar: Lorenzo Normante ($84,7 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$), Betancourt ($84,0 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$) y Ada Byron ($75,9 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$). Estos tres edificios tienen sistemas de climatización basados en bombas de calor hidrotérmicas. En cambio, el Torres Quevedo tiene un consumo eléctrico menor ($48,7 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$) al tener un sistema de calefacción basado en caldera de gas.

En el campus San Francisco destaca el alto ratio de la Facultad de Derecho ($291 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$), mientras que el edificio Bellas Artes del campus de Teruel es el que menor consumo tiene con $17 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$.

3.2.4. Comparación con otras universidades

En 2011, el IDAE llevó a cabo un estudio basado en el análisis energético de 76 universidades españolas [6]. En la tabla 4 se muestran los ratios de consumo eléctrico ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$) según la zona climática.

Zona climática	€/kWh	kWh/alumno	€/alumno	kWh/m ²
Zona Atlántica	0,11	647	68	51
Zona Continental	0,11	812	93	61
Zona Mediterránea	0,11	702	78	72
Universidades presenciales	0,11	744	83	65

Tabla 4. Indicadores energía eléctrica (kWh/m²) de universidades españolas en 2011. Fuente: IDAE

Los valores obtenidos en este estudio están entre 50-70 (kWh/m²·año). Se van a comparar estos valores con los consumos calculados en los edificios de Unizar.

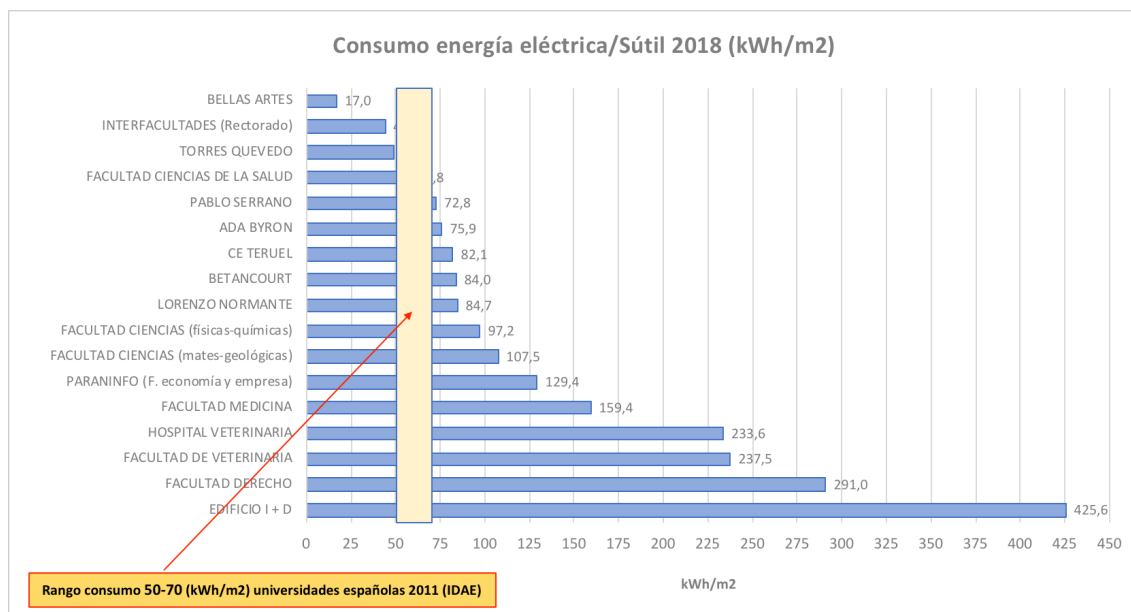


Figura 13. Comparación del consumo eléctrico por superficie útil de los edificios Unizar en 2018 y universidades españolas en 2011. Fuente: elaboración propia e IDAE

En la figura 13 se aprecia como la mayoría de los edificios estudiados de Unizar tienen valores de consumo promedio entre 110 y 130 (kWh/m²·año) superiores al rango 50-70 (kWh/m²·año) del estudio de IDAE en 2011. Uno de los factores influyentes en esta discrepancia puede ser el salto temporal (siete años) entre estos dos análisis. Pero también hay que destacar el alto consumo eléctrico de varios edificios de Unizar (Edificio I+D, Facultad Derecho, Facultad y Hospital Veterinaria, Facultad Medicina, Paraninfo), en los cuales sería recomendable la realización de una auditoría energética.

3.3. Consumo de gas natural

Respecto al consumo de gas natural en La Universidad de Zaragoza, desde 2011 se empezaron a regular los horarios desde la Oficina Verde, produciéndose un descenso superior a 6 millones de kWh hasta 2015.

A continuación, se analiza la distribución de consumo de gas natural en los cuatro años siguientes (2015-2018).

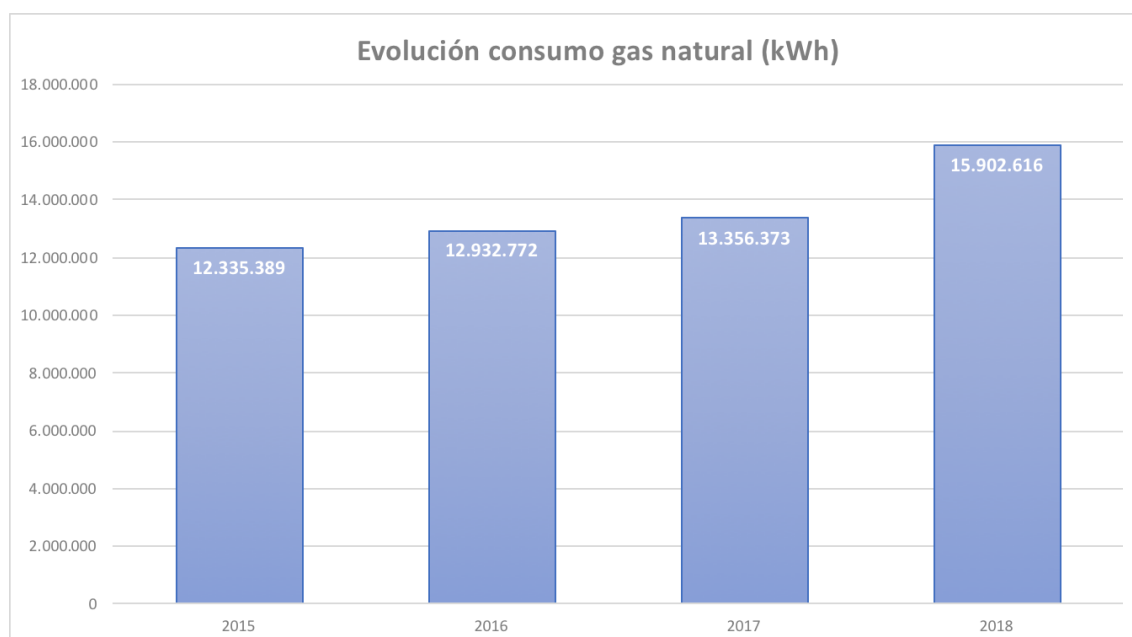


Figura 14. Evolución del consumo de gas natural de los edificios Unizar en el año 2018. Fuente: elaboración propia

En la figura 14 se ve como durante los tres primeros años, de 2015 a 2017, el consumo aumenta un 8%. Sin embargo, en 2018 el consumo experimenta un crecimiento de casi 3 millones de kWh (19%) debido a órdenes de aumentar horarios de calefacción y, especialmente, a los días de niebla intensa.

En la tabla 5 se analiza la distribución de este consumo de gas natural por campus universitarios.

Consumo (kWh)	2015		2016		2017		2018	
SAN FRANCISCO	6.342.252	51,4%	6.543.603	50,6%	6.880.829	51,5%	8.415.448	52,9%
RÍO EBRO	2.886.024	23,4%	3.316.997	25,6%	3.345.590	25,0%	3.881.306	24,4%
VETERINARIA	1.888.590	15,3%	1.902.388	14,7%	1.860.477	13,9%	2.275.065	14,3%
TERUEL	1.218.523	9,9%	1.169.784	9,0%	1.269.477	9,5%	1.330.797	8,4%
TOTAL	12.335.389	100%	12.932.772	100%	13.356.373	100%	15.902.616	100%

Tabla 5. Distribución del consumo de gas natural por campus universitarios en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

Más de la mitad del consumo de gas natural de los edificios analizados de La Universidad de Zaragoza se produce en el campus San Francisco (51-52%), seguido por los edificios del campus Río Ebro, que suponen en torno a un cuarto del consumo total. En la figura 15 se representa el consumo de gas natural de los edificios universitarios estudiados en 2018.

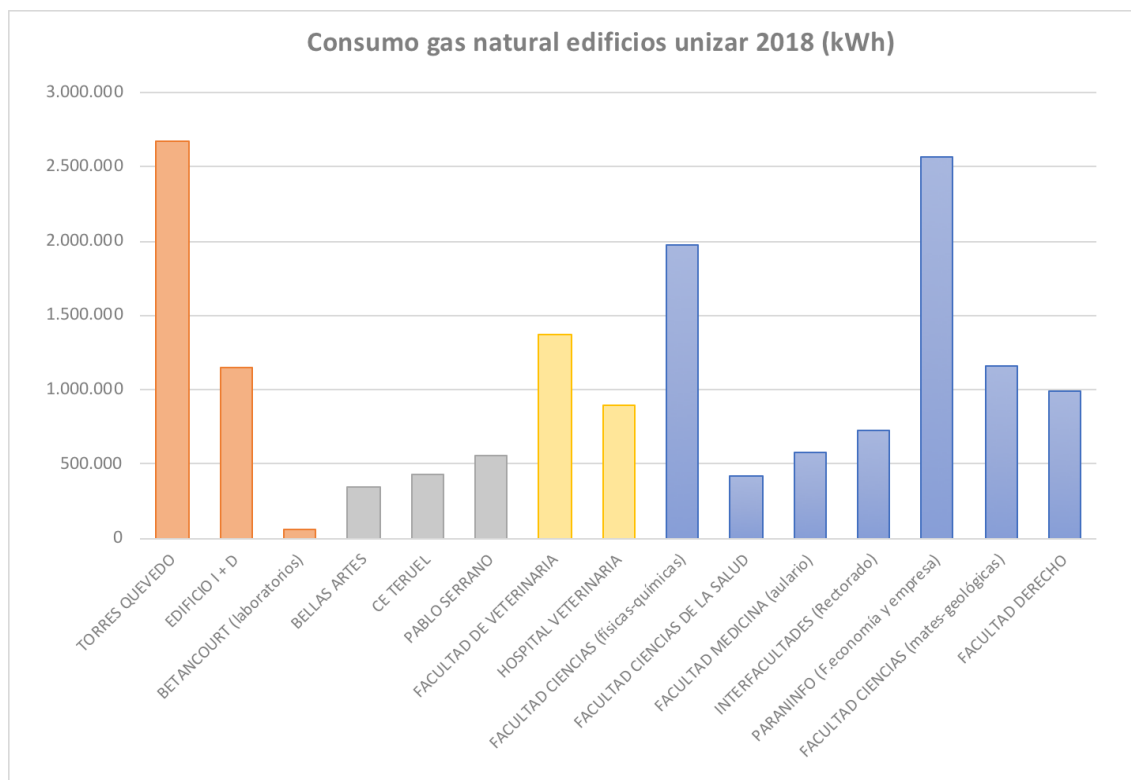


Figura 15. Consumo de gas natural de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración propia

El consumo de gas natural en el campus Río Ebro se produce mayoritariamente en el Torres Quevedo, superando los 2.5 millones de kWh. En los edificios del campus de Teruel se tienen consumos estables en torno a 400.000-500.000 kWh. En el campus de Veterinaria se consume más gas natural en la Facultad que en el Hospital. En el campus San Francisco destacan los consumos del edificio Paraninfo y la Facultad de Ciencias (física y química).

3.3.1. Consumo gas natural por superficie útil

En la figura 16 se muestra el consumo de gas natural por superficie útil de los edificios universitarios en 2018.

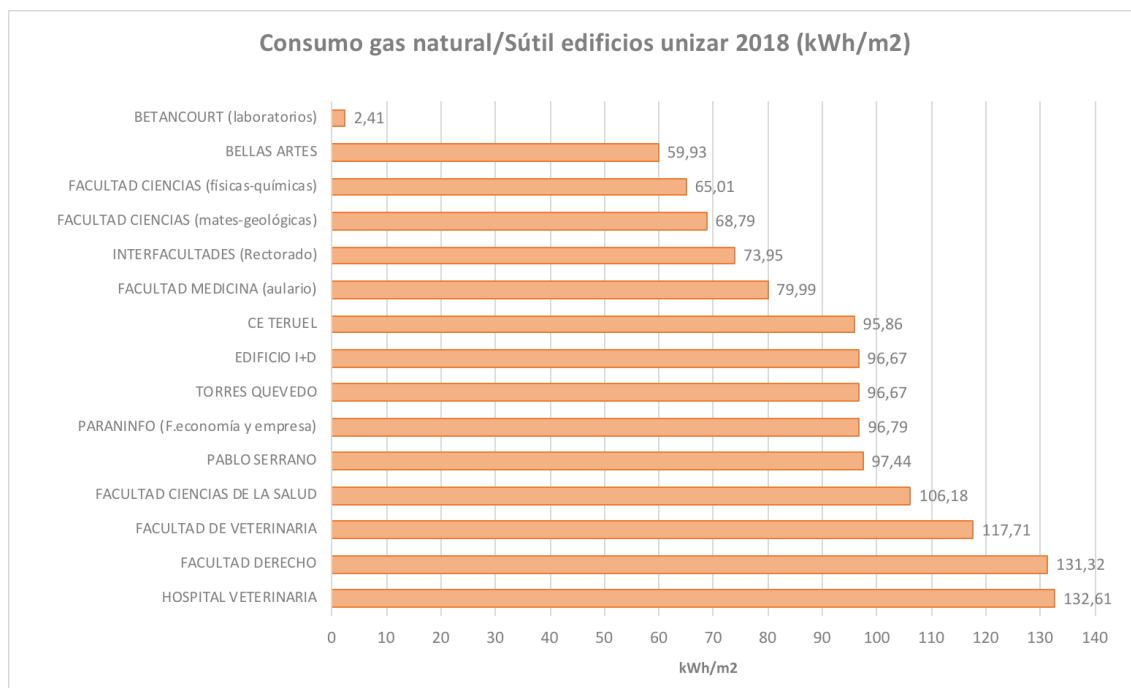


Figura 16. Consumo gas natural por superficie útil de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración propia

Hay varios edificios como el Hospital y la Facultad de Veterinaria, la Facultad de Derecho y de Ciencias de la Salud que cuentan con ratios superiores a 100 (kWh/m²·año). En el Betancourt solamente se consume gas natural en laboratorios y cafetería (2,41 kWh/m²·año). La menor ratio de consumo se tiene en el edificio Bellas Artes del campus de Teruel (60 kWh/m²·año).

3.3.2. Comparación con otras universidades

En este apartado se comparan las ratios de consumo de gas natural por unidad de superficie de los edificios de Unizar con ratios de otras universidades españolas del estudio de IDAE [6].

Zona climática	€/kWh	kWh/alumno	€/alumno	kWh/m ²
Zona Atlántica	0,06	603	36	48
Zona Continental	0,05	653	32	49
Zona Mediterránea	0,05	207	10	21
Universidades presenciales	0,05	434	22	38

Tabla 6. Indicadores gas natural (kWh/m²) de universidades españolas en 2011. Fuente: IDAE

La tabla 6 muestra que los valores típicos de universidades con clima continental (como es el caso de Aragón) están cercanos a 50 (kWh/m²·año).

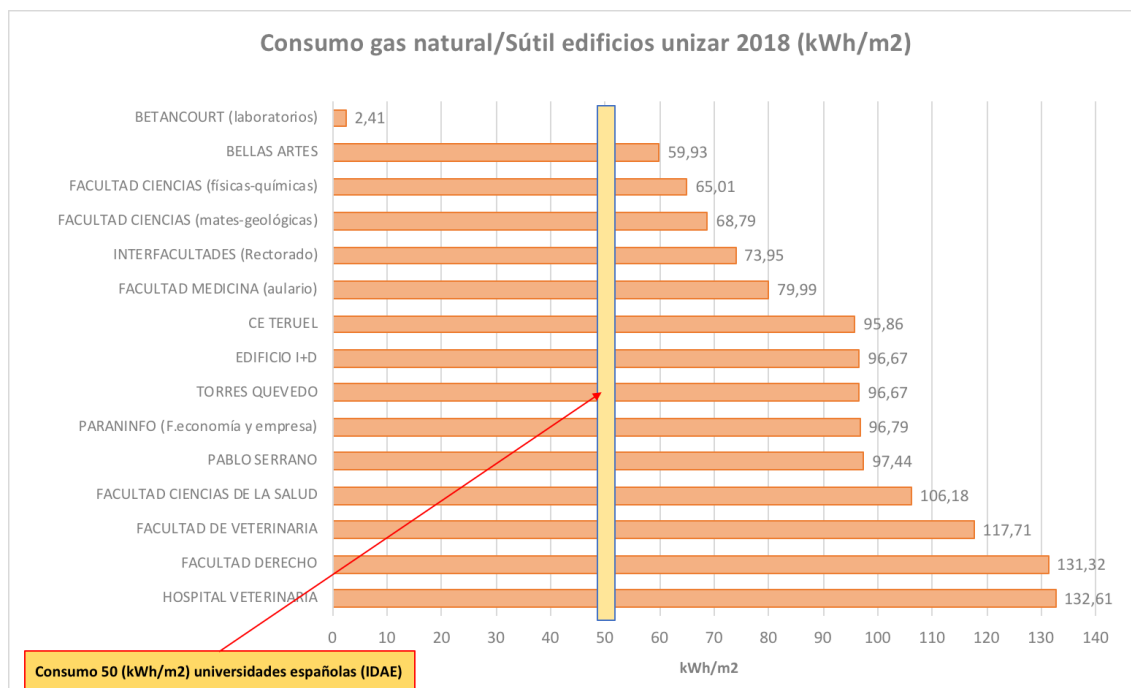


Figura 17. Comparación de gas natural por superficie útil de los edificios Unizar en 2018 y universidades españolas en 2011. Fuente: elaboración propia e IDAE

Como se observa en la figura 17 los consumos de gas natural promedio de los edificios de Unizar en 2018 están entre 85 y 95 (kWh/m²·año), siendo superiores a los obtenidos en el estudio de IDAE. Destacan los elevados consumos del Hospital de Veterinaria y la Facultad de Derecho, ambos superando los 130 (kWh/m²·año).

3.4. Consumo de energía primaria

La eficiencia energética de los edificios se expresa de forma cuantitativa mediante indicadores mostrados en la calificación de la eficiencia energética de un edificio:

- Consumo anual de energía primaria (kWh/m²)
- Emisiones anuales de CO₂ (kgCO₂/m²)

A partir de los datos calculados de consumo de energía eléctrica y gas natural de los edificios se ha realizado la conversión a energía primaria mediante el uso de los coeficientes de paso según establece el RITE [12]. Se va a tener en cuenta la superficie útil de cada edificio [29]. En el [Anexo VI](#) se muestra la superficie útil de cada edificio de Unizar estudiado y en el [Anexo VII](#) se amplía información sobre los factores de conversión utilizados.

3.4.1. Energía eléctrica

Primero se ha obtenido la energía primaria debido al consumo de electricidad, y en la figura 18 se relaciona con la superficie útil por campus universitario.

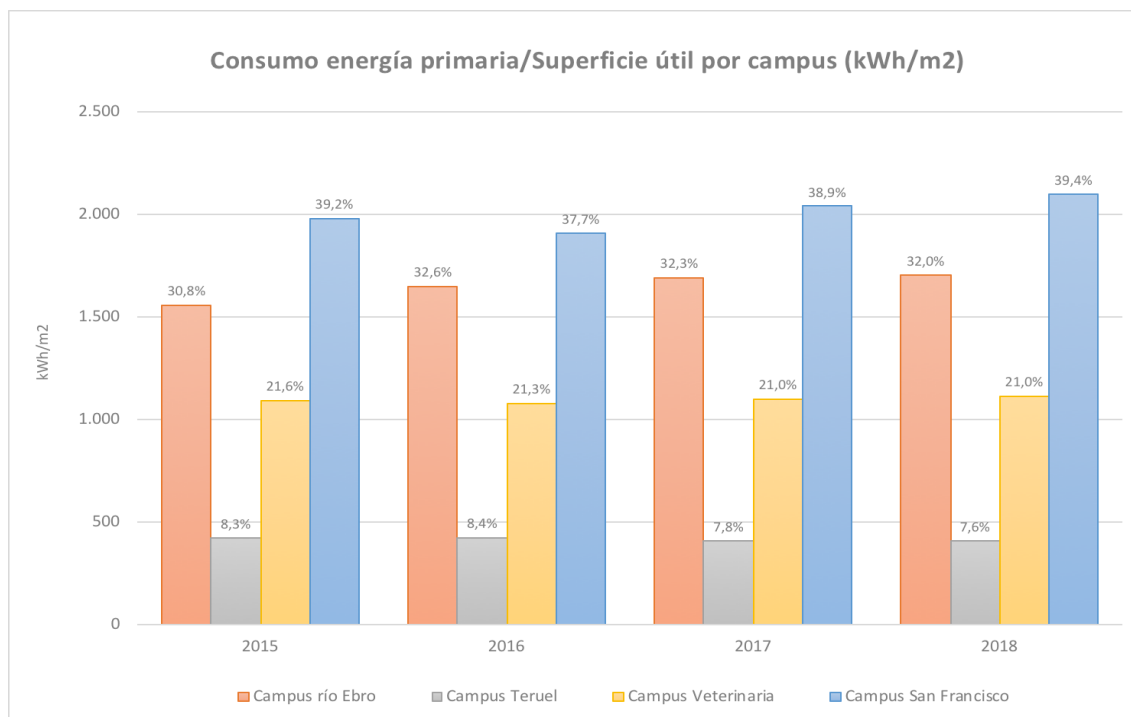


Figura 18. Consumo de energía primaria (energía eléctrica) por superficie útil por campus universitario en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

La ratio de consumo de energía primaria en el campus Río Ebro supone un porcentaje (30-32%) inferior al calculado anteriormente teniendo en cuenta solo el consumo de energía eléctrica (41-42%). Esto se debe a los altos valores de superficie útil que poseen sus edificios. El campus San Francisco engloba el mayor porcentaje de todos, cercano al 40%.

En la figura 19 se representa este consumo de energía primaria por superficie útil de cada edificio estudiado en 2018.

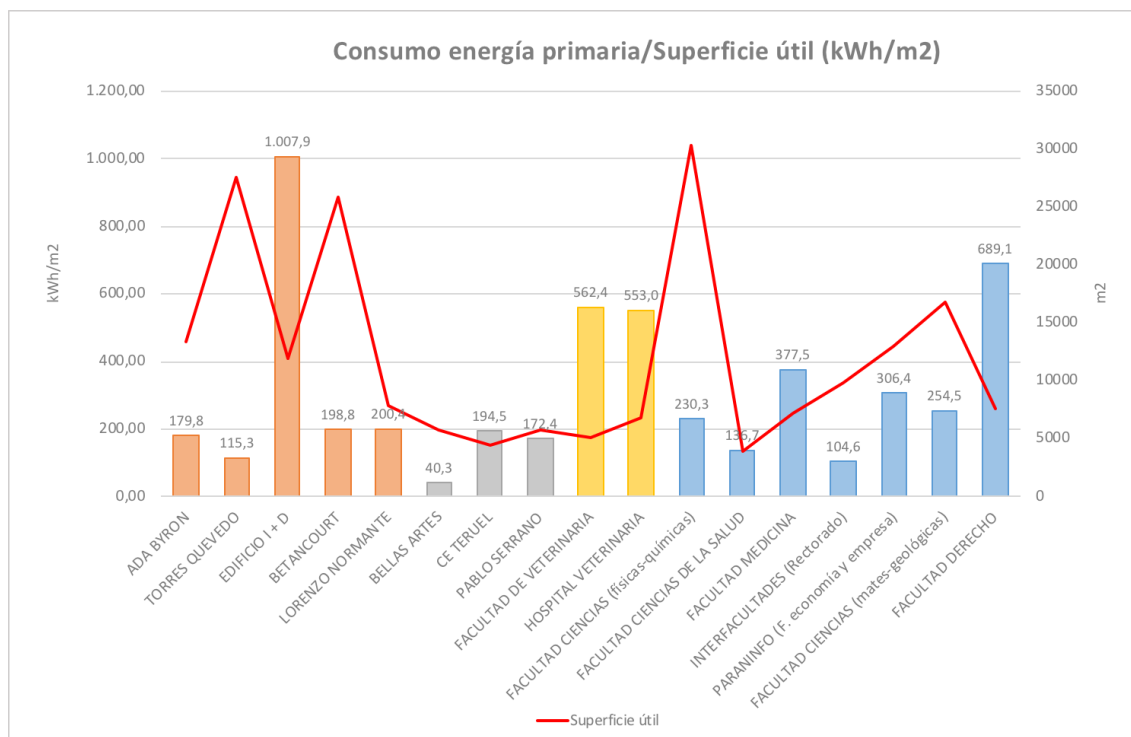


Figura 19. Consumo de energía primaria (energía eléctrica) por superficie útil de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración propia

Destaca el Edificio I+D del campus Río Ebro con un valor de consumo de energía primaria superior a 1000 (kWh/m²·año), muy por encima de los demás edificios. Como ya se ha expuesto anteriormente, este alto consumo de energía se debe, principalmente, al uso y la refrigeración continua de material técnico en laboratorios especializados y salas de informática destinadas a la investigación [30].

Respecto al origen de la energía, La Universidad de Zaragoza se comprometió a que la energía eléctrica consumida tenga certificado de garantía renovable a partir de enero de 2017. Por lo tanto, en la figura 20 se muestra la distribución de la energía primaria renovable por superficie útil en los distintos campus durante 2017 y 2018.

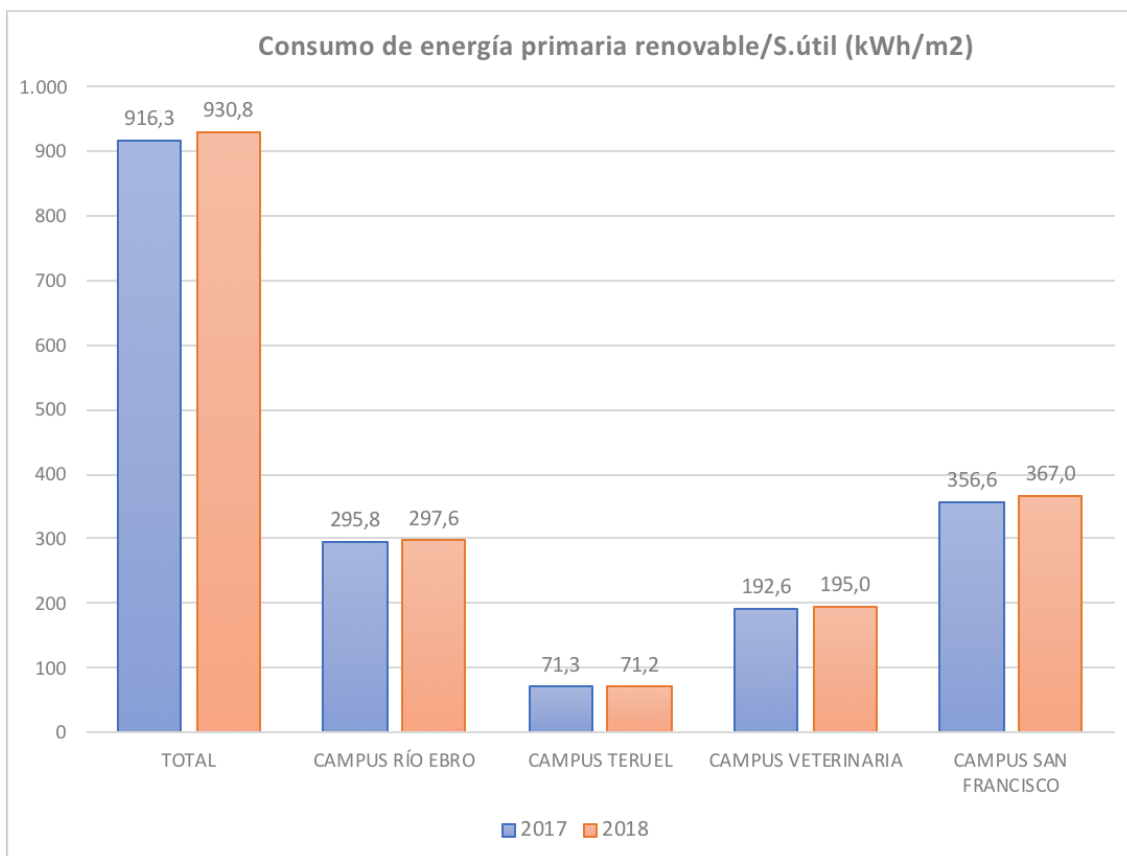


Figura 20. Consumo de energía primaria renovable por superficie útil por campus universitario en 2017 y 2018. Fuente: elaboración propia

Durante estos dos años el consumo de energía primaria debido al consumo de electricidad en los edificios estudiados de Unizar se ha mantenido constante con un ligero aumento del 1,5%, predominando en los campus Río Ebro y San Francisco.

3.4.2. Gas natural

En la figura 21 representa la energía primaria por superficie útil obtenida a partir del consumo de gas natural por campus universitario.

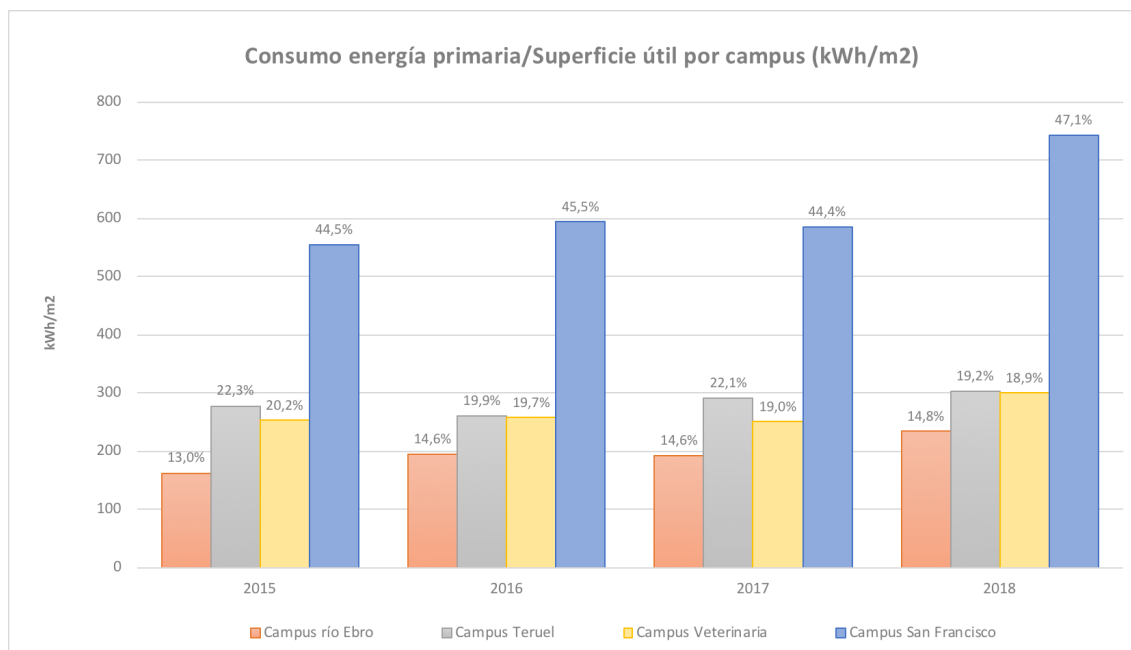


Figura 21. Consumo de energía primaria (gas natural) por superficie útil por campus universitario en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

El mayor consumo de energía primaria por gas natural se produce en el campus San Francisco (45-47%). El campus Río Ebro tiene el menor porcentaje, ya que en sus edificios predomina el consumo de electricidad en comparación con el de gas natural.

En la figura 22 se representa la distribución de este consumo de energía primaria en cada uno de los edificios estudiados en 2018.

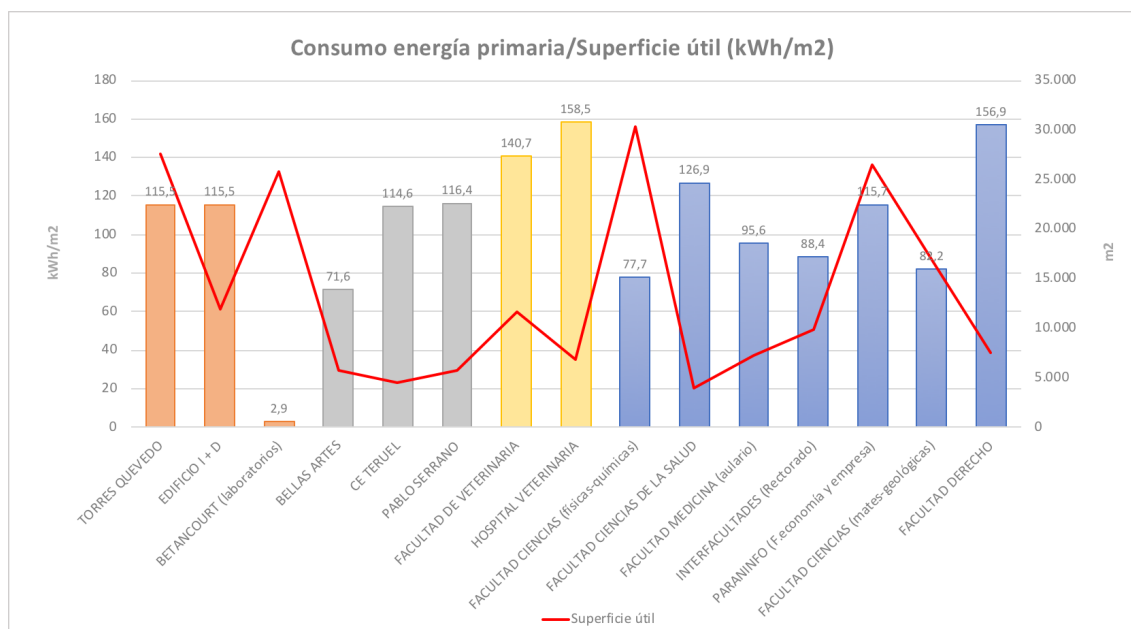


Figura 22. Consumo de energía primaria (gas natural) por superficie útil de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración propia

En el campus Río Ebro los principales consumidores de gas natural son el Edificio I+D y en el Torres Quevedo, ya que en ambos el sistema de calefacción funciona mediante

caldera de gas, no como en el Betancourt, Ada Byron y Lorenzo Normante. Entre los demás edificios destacan el Hospital de Veterinaria y la Facultad de Derecho.

3.4.3. Total

En la tabla 7 se muestra la suma total de ambos consumos (energía eléctrica y gas natural) en los edificios estudiados en 2018.

ENERGÍA PRIMARIA (kWh/m ²) 2018	Energía eléctrica	Gas natural	Total
EDIFICIO I + D	1.007,9	115,5	1.123,4
FACULTAD DERECHO	689,1	156,9	846,0
HOSPITAL VETERINARIA	553,0	158,5	711,5
FACULTAD DE VETERINARIA	562,4	140,7	703,1
FACULTAD MEDICINA	377,5	95,6	473,1
PARANINFO (F. economía y empresa)	306,4	115,7	422,1
FACULTAD CIENCIAS (mates-geológicas)	254,5	82,2	336,7
CE TERUEL	194,5	114,6	309,1
FACULTAD CIENCIAS (físicas-químicas)	230,3	77,7	308,0
PABLO SERRANO	172,4	116,4	288,8
FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD	136,7	126,9	263,6
TORRES QUEVEDO	115,3	115,5	230,8
BETANCOURT	198,8	2,9	201,7
LORENZO NORMANTE	200,4	0,0	200,4
INTERFACULTADES (Rectorado)	104,6	88,4	193,0
ADA BYRON	179,8	0,0	179,8
BELLAS ARTES	40,3	71,6	111,9
TOTAL	5.323,9	1.579,1	6.903,0

Tabla 7. Consumo de energía primaria total por superficie útil de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran que en los edificios estudiados de La Universidad de Zaragoza el consumo de energía primaria por electricidad (77%) es muy superior al de gas natural (23%). La representación gráfica de estos datos se muestra en la figura 23:

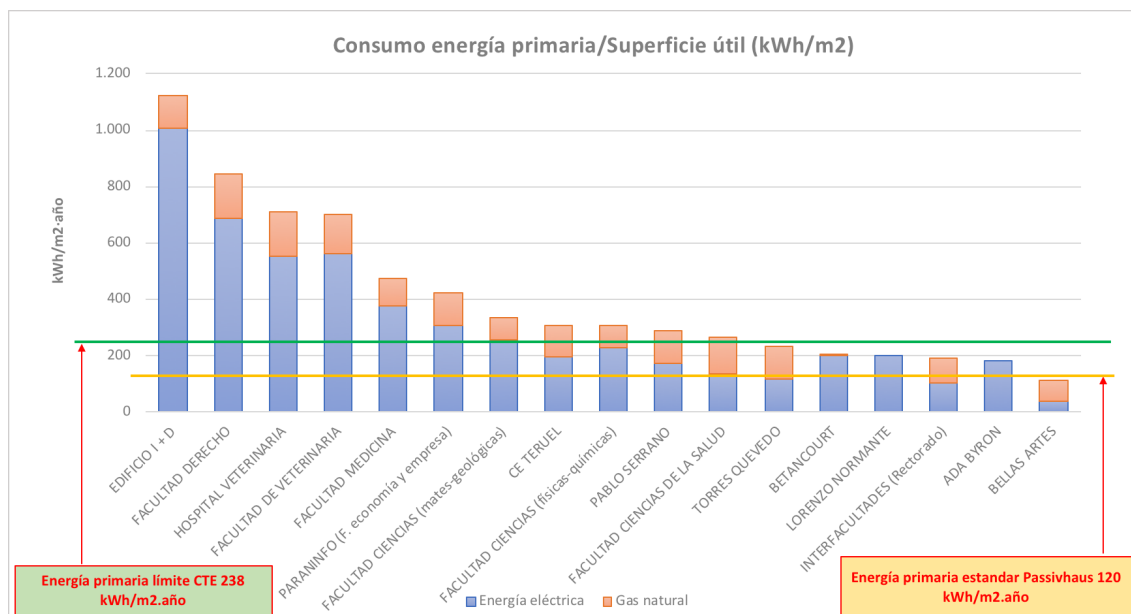


Figura 23. Consumo de energía primaria total por superficie útil de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración propia

Para tener una referencia sobre si las ratios de consumo de energía primaria ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$) de los edificios de Unizar son razonables, se comparan con estos dos criterios:

- **CTE 2019 (HE-0):** en la nueva versión del CTE de diciembre de 2019 [31] aparecen los valores límite establecidos de consumo de energía primaria total. Para el cálculo de este coeficiente se ha tenido en cuenta que los edificios universitarios son de uso no residencial ($C_{Fi}=12 \text{ W/m}^2$) y la zona climática de Zaragoza y Teruel (D). Se ha obtenido un consumo límite de **238** ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$). En la figura 23 se observa como hay varios edificios de Unizar que tienen un consumo de energía primaria superior a este límite y que necesitan una revisión de su consumo energético.
- **Edificios Passivhaus:** son edificios con bajo consumo energético de calefacción y refrigeración gracias a su buen aislamiento térmico. Para que un edificio sea considerado de este tipo debe tener un consumo límite de energía primaria estándar de **120** ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$). Este es un valor hacia el que se debería tender en los edificios universitarios en el futuro, pero como se observa en la gráfica, todavía se está muy lejos de lograr este consumo.

3.5. Emisiones de CO_2

El cálculo de las emisiones de CO_2 se ha realizado mediante la utilización de factores de emisión [32], en el [Anexo VII](#) se detalla el procedimiento seguido y los coeficientes de conversión usados.

3.5.1. Emisiones energía eléctrica

Durante 2015 y 2016, los edificios de Unizar consumen energía eléctrica de origen no renovable. En la figura 24 se muestran las emisiones de CO₂ y su distribución por campus universitario.

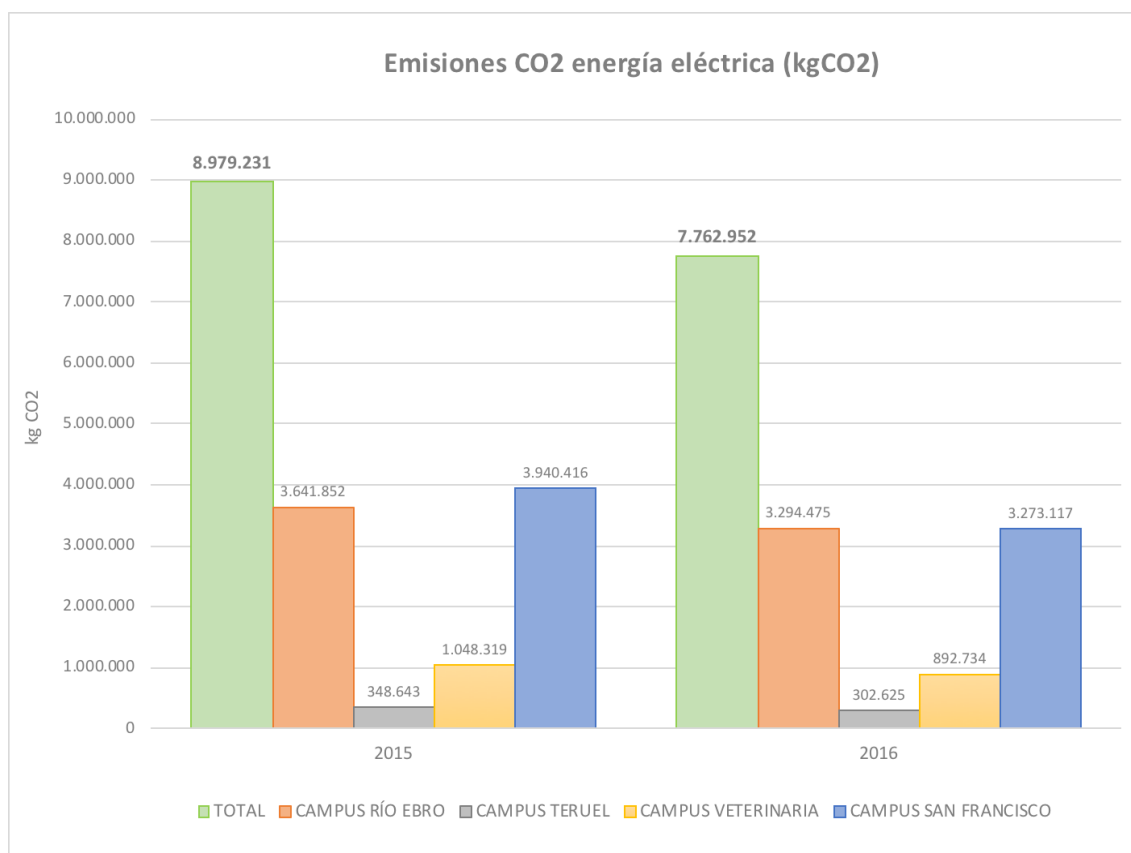
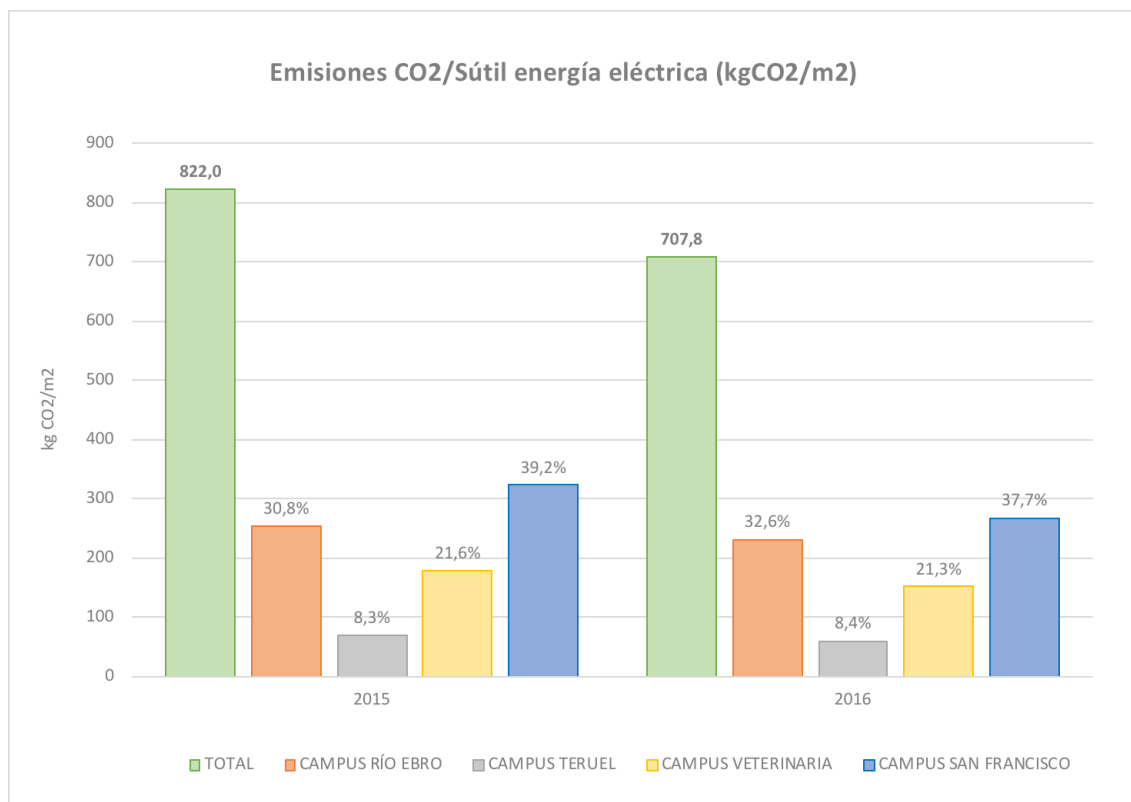


Figura 24. Emisiones de CO₂ (energía eléctrica) por campus universitario en 2015 y 2016. Fuente: elaboración propia

Se produce un descenso de emisiones de dióxido de carbono en 2016 de más de un millón de kgCO₂, ya que el factor de emisión para convertir los kWh de la energía consumida a emisiones de CO₂ es mayor en 2015 (0,385) que en 2016 (0,331). Alrededor de un 80-85% del CO₂ emitido tiene lugar en los campus Río Ebro y San Francisco, superando ambos los tres millones de kg CO₂.

En la figura 25 se muestra la distribución de estas emisiones de CO₂ por campus universitario durante estos dos años, pero teniendo en cuenta la superficie útil de los edificios.



*Figura 25. Emisiones de CO₂/m² (energía eléctrica) en los campus universitarios en 2015 y 2016.
Fuente: elaboración propia*

Los campus Río Ebro y San Francisco ahora engloban un porcentaje de emisiones (70%) menor que en el análisis anterior (85%), ya que los edificios situados en estos campus poseen una superficie útil muy alta.

A partir de 2017 La Universidad de Zaragoza compra energía eléctrica con garantía de origen renovable, por lo tanto para el 2017 y 2018 las emisiones de CO₂ debidas al consumo de electricidad se consideran nulas.

3.5.2. Emisiones gas natural

En la figura 26 se muestran las emisiones de dióxido de carbono debido al consumo de gas natural en los edificios estudiados durante 2015-2018.

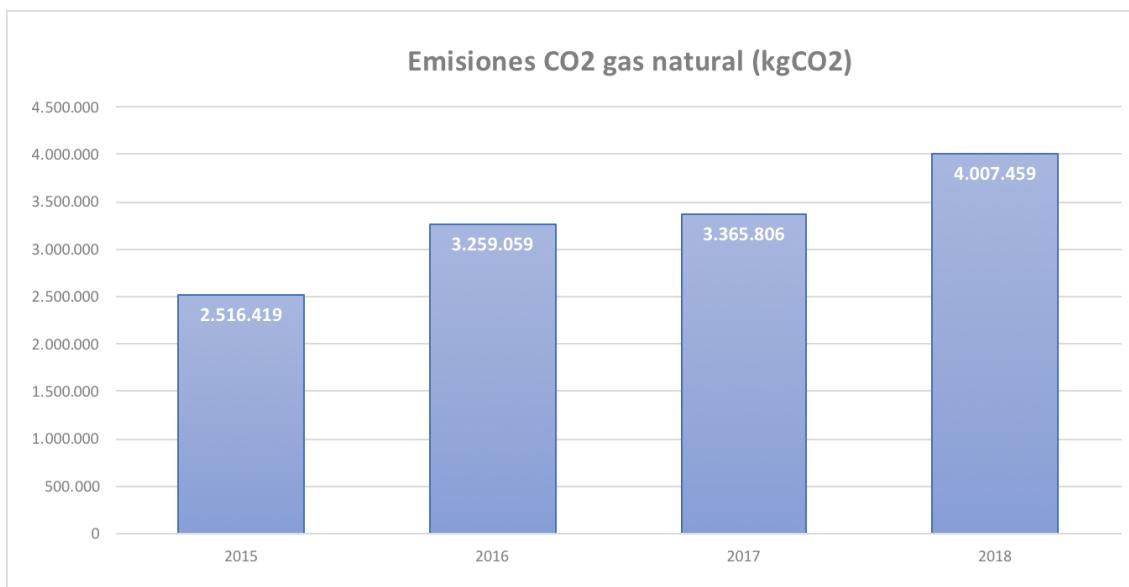


Figura 26. Emisiones de CO₂ (gas natural) de los edificios Unizar en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

Los kg de CO₂ emitidos en los edificios analizados de La Universidad de Zaragoza por el consumo de gas natural han aumentado cada año debido a la tendencia ascendente de este consumo, especialmente en 2018.

En la figura 27 se muestra la distribución de las emisiones promedio de estos cuatro años según el campus analizado.

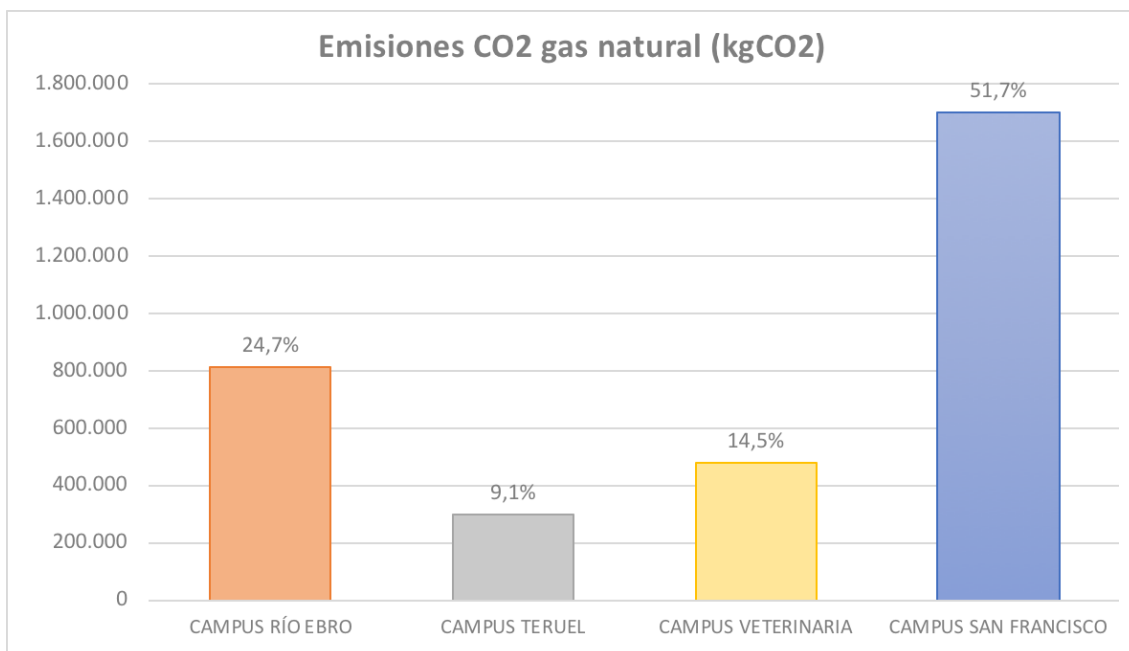


Figura 27. Emisiones de CO₂ (gas natural) por campus promedio de 2015-2018. Fuente: elaboración propia

Más de la mitad de las emisiones de CO₂ se producen en el campus San Francisco. Los edificios que más contribuyen a estas emisiones con su alto consumo de gas natural son la Facultad de Ciencias y Derecho y el edificio Paraninfo. Le sigue el campus Río Ebro con

un cuarto de las emisiones totales, siendo el Torres Quevedo el edificio de este campus que más kgCO₂ emite.

En la figura 28 se representan los kgCO₂/m² y su distribución por campus durante 2015-2018.

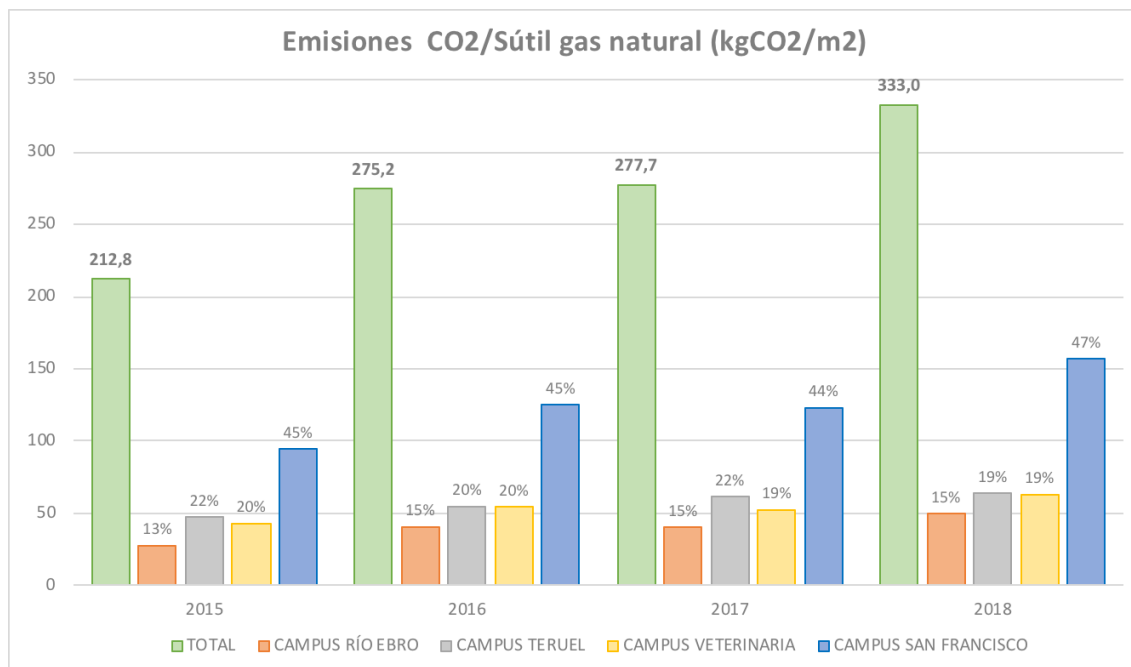


Figura 28. Emisiones de CO₂/m² (gas natural) de los edificios Unizar en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

El mayor porcentaje de emisiones por superficie útil se tiene en el campus San Francisco (47%). El campus Río Ebro tiene un porcentaje (13-15%) menor que el obtenido en el análisis anterior considerando solo los kgCO₂ (25%). Los campus de Veterinaria y Teruel suponen en torno a un 40% de las emisiones totales.

3.5.3. Emisiones totales

En la tabla 8 se muestran las emisiones totales en los edificios estudiados de Unizar.

Emisiones (kgCO ₂)	2015	2016	2017	2018
Energía eléctrica	8.979.231	7.762.952	0	0
Gas natural	2.516.419	3.259.059	3.365.806	4.007.459
Total	11.495.650	11.022.011	3.365.806	4.007.459

Tabla 8. Emisiones de CO₂ (kgCO₂) totales de los edificios estudiados de La Universidad de Zaragoza en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

Las emisiones de CO₂ en 2015 y 2016 se mantienen estables, sin embargo, en 2017 se produce una reducción de un 70% respecto al 2016, ya que a partir de 2017 La Universidad de Zaragoza compra energía eléctrica con garantía de origen renovable.

Estos resultados obtenidos concuerdan con el objetivo de La Universidad de Zaragoza de reducir las emisiones de CO₂, que comenzó en 2016 a registrar su huella de Carbono. Este registro calcula emisiones con **alcance 1** (combustión gas natural) **+2** (generación electricidad consumida). Además, en 2019 se busca compensar el 10% de las emisiones de CO₂ del suministro de gas propano en la Escuela Politécnica de Huesca.

3.6. Análisis económico

Se va a realizar un análisis de los costes económicos en los edificios de Unizar. Estos datos de facturación han sido proporcionados por la Oficina Verde.

3.6.1. Energía eléctrica

Los datos de la facturación eléctrica por campus aparecen en la tabla 9:

Facturación eléctrica (€)	2015		2016		2017		2018	
SAN FRANCISCO	1.514.535	44,6%	1.439.998	43,9%	1.342.010	44,0%	1.488.755	46,1%
RÍO EBRO	1.346.539	39,7%	1.352.413	41,2%	1.255.927	41,2%	1.287.527	39,8%
VETERINARIA	386.731	11,4%	360.039	11,0%	334.978	11,0%	336.032	10,4%
TERUEL	146.314	4,3%	131.200	4,0%	117.077	3,8%	119.668	3,7%
TOTAL	3.394.119	100%	3.283.650	100%	3.049.992	100%	3.231.982	100%

*Tabla 9. Facturación económica energía eléctrica de La Universidad de Zaragoza en 2015-2018.
Fuente: elaboración propia*

Cabe destacar que la mayor facturación se produce en el 2015 a pesar de ser el año en el que menos energía eléctrica se consume. La causa de esto es que La Universidad de Zaragoza en 2016 acordó la compra de la energía eléctrica de los años 2017 y 2018, consiguiendo un precio del kWh eléctrico muy bueno para estos dos años. La mayor facturación tiene lugar en los campus Río Ebro y San Francisco.

En la figura 29 se muestra el coste económico de electricidad por superficie útil de cada edificio en 2018.

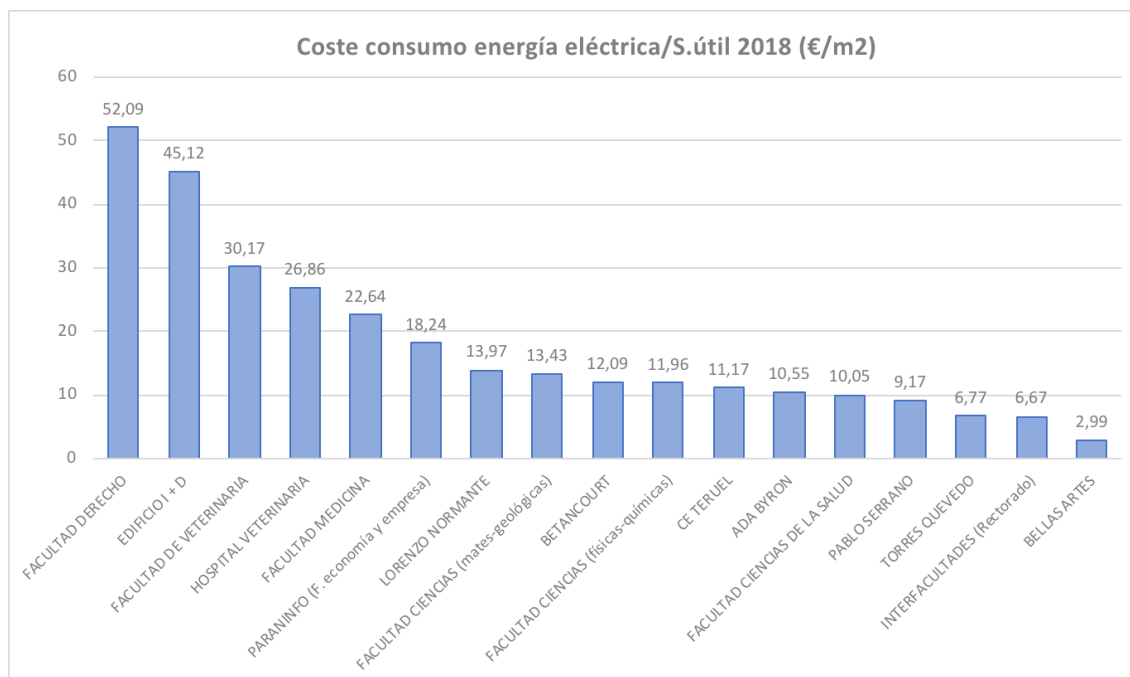


Figura 29. Coste económico energía eléctrica de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración

Tanto el Edificio I+D del campus Río Ebro como la Facultad de Derecho tienen las mayores ratios de coste. Hay varios edificios como el Bellas Artes, Pablo Serrano e Interfacultades que tienen unas ratios de facturación inferior a 10 (€/m²-año), evidenciando que son los que tienen mejor aprovechamiento económico del consumo eléctrico por superficie.

3.6.2. Gas natural

En la tabla 10 se muestran los costes económicos de consumo de gas natural a partir de la facturación en 2015-2018 por campus universitario.

Facturación gas natural (€)	2015		2016		2017		2018	
SAN FRANCISCO	348.299	52,4%	317.847	50,6%	337.096	51,4%	429.349	52,9%
RÍO EBRO	158.025	23,8%	158.767	25,3%	162.453	24,8%	196.335	24,2%
VETERINARIA	110.561	16,6%	93.426	14,9%	92.216	14,1%	116.028	14,3%
TERUEL	47.281	7,1%	57.948	9,2%	64.531	9,8%	70.660	8,7%
TOTAL	664.166	100%	627.988	100%	656.296	100%	812.372	100%

Tabla 10. Facturación económica gas natural de La Universidad de Zaragoza en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

En 2018 se tiene la mayor facturación con un aumento del 24% respecto al año anterior debido al importante crecimiento de consumo de gas natural durante este año. El campus San Francisco registra más de la mitad de facturación total.

En la figura 30 se representa la distribución del coste por unidad de superficie de cada edificio estudiado en 2018.

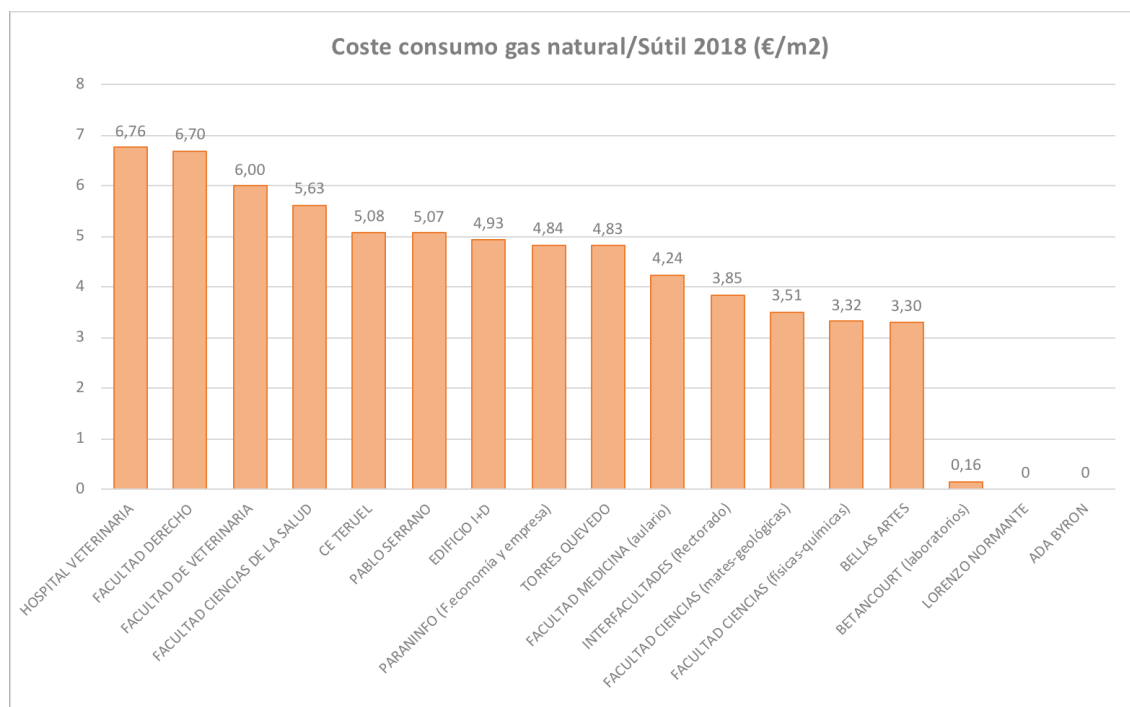


Figura 30. Coste económico gas natural de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración propia

La mayor proporción de coste por superficie útil se tiene en el Hospital de Veterinaria y en la Facultad de Derecho. En el campus Río Ebro el Torres Quevedo y el Edificio I+D son los edificios que aglutinan todo este consumo, ambos con un coste cercano a los 5 (€/m²·año). Los edificios que menor gasto tienen por consumo de gas natural son la Facultad de Ciencias (físicas-químicas) y el edificio Bellas Artes.

3.6.3. Total

En la tabla 11 se muestran los costes totales por unidad de superficie de los edificios en 2018.

FACTURACIÓN (€/m ²) 2018	Energía eléctrica	Gas natural	Total
FACULTAD DERECHO	52,09	6,70	58,79
EDIFICIO I+D	45,12	4,93	50,05
FACULTAD VETERINARIA	30,17	6,00	36,17
HOSPITAL VETERINARIA	26,86	6,76	33,62
FACULTAD MEDICINA	22,64	4,24	26,88
PARANINFO (F. economía y empresa)	18,24	4,86	23,10
FACULTAD CIENCIAS (mates-geológicas)	13,43	3,51	16,94
CE TERUEL	11,17	5,08	16,25
FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD	10,05	5,63	15,68
FACULTAD CIENCIAS (físicas-químicas)	11,96	3,32	15,28
PABLO SERRANO	9,17	5,07	14,24
LORENZO NORMANTE	13,97	0,00	13,97
BETANCOURT	12,09	0,16	12,25
TORRES QUEVEDO	6,77	4,83	11,60
ADA BYRON	10,55	0,00	10,55
INTERFACULTADES (Rectorado)	6,67	3,85	10,52
BELLAS ARTES	2,99	3,30	6,29
TOTAL	303,94	68,24	372,18

Tabla 11. Coste total (€/m²) de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración propia

El coste por unidad de superficie debido al consumo de energía eléctrica en los edificios universitarios supone el 82% del coste total, es decir, más de cuatro veces el coste por consumo de gas natural (18%). En la figura 31 se representa lo expuesto en la tabla 11.

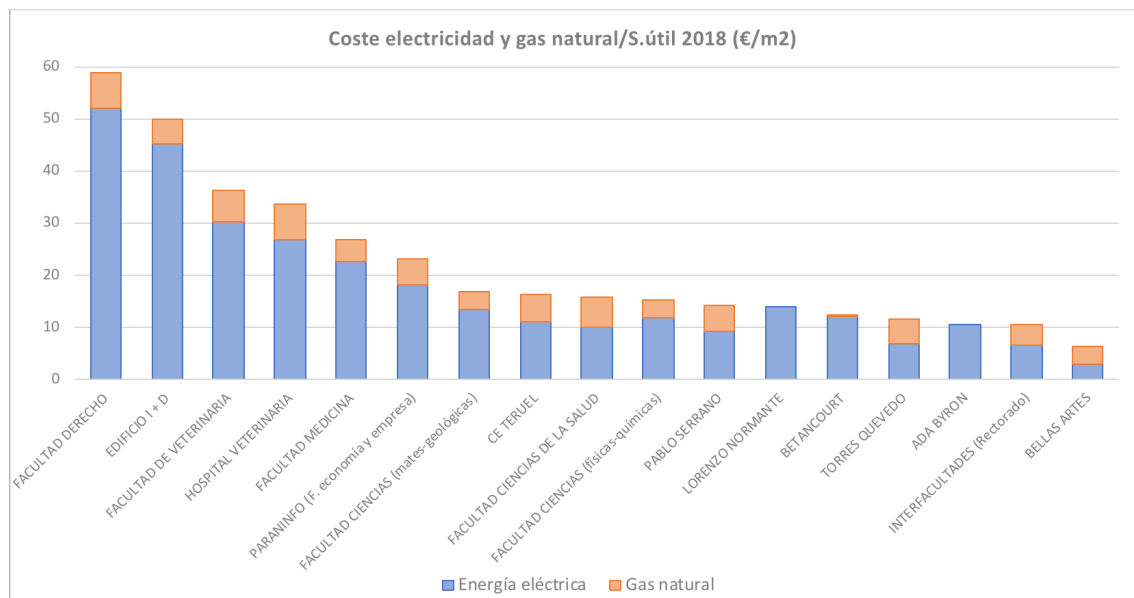


Figura 31. Coste total (€/m²) de los edificios Unizar en 2018. Fuente: elaboración propia

3.7. Comparativa general edificios

En este apartado se realiza una comparación entre los edificios estudiados según sus sistemas de climatización y ratios de consumo de energía y facturación por unidad de superficie.

3.7.1. Sistemas de climatización

En la tabla 12 se muestran los sistemas de climatización más habituales en las universidades españolas según su zona climática [6].

Tecnología	Zona Atlántica	Zona Continental	Zona Mediterránea	Univ. Presenciales
Caldera de condensación	20%	35,3%	21,4%	28,6%
Aire Acondicionado	50%	94,1%	100%	91,4%
Bomba de calor	75%	82,4%	100%	88,5%
Cogeneración	0%	5,9%	7,1%	5,7%
Solar Térmica	50%	35,3%	35,7%	37,1%
Solar Fotovoltaica	75%	35,3%	38,5%	40%
Geotermia	25%	11,8%	0%	8,5%

Tabla 12. Sistemas de climatización edificios universitarios por zona climática en España. Fuente: IDAE

Los equipos más utilizados son las bombas de calor y aire acondicionado, mientras que el uso de cogeneración y sistemas geotérmicos es mínimo.

En el [Anexo IX](#) se muestran los sistemas de climatización usados en La Universidad de Zaragoza. Solo hay tres edificios (Betancourt, Normante, Ada Byron) que usan bombas de calor con sistema de hidrotermia para todo su sistema de climatización.

3.7.2. Energía eléctrica

En la tabla 13 se muestran los datos de consumo y facturación eléctrica por unidad de superficie de los edificios analizados en 2018.

Energía eléctrica (2018)	Consumo (kWh/m ²)	Facturación (€/m ²)
Edificio I+D	425,63	45,12
Facultad Derecho	291,02	52,09
Facultad Veterinaria	237,52	30,17
Hospital Veterinaria	233,55	26,86
Facultad Medicina	159,43	22,64
Paraninfo (F. Economía y Empresa)	129,39	18,24
Facultad Ciencias (mates-geológicas)	107,47	13,43
Facultad Ciencias (físicas-químicas)	97,24	11,96
Lorenzo Normante	84,65	13,97
Betancourt	83,97	12,09
CE Teruel	82,13	11,17
Ada Byron	75,91	10,55
Pablo Serrano	72,79	9,17
Facultad Ciencias de la Salud	57,75	10,05
Torres Quevedo	48,68	6,77
Interfacultades (rectorado)	44,15	6,67
Bellas Artes	17,01	2,99

Tabla 13. Consumo eléctrico y facturación m² de los edificios universitarios en 2018. Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos reflejan que el mayor consumo por superficie se produce en el Edificio I+D del campus Río Ebro, teniendo también uno de los costes más altos. En los edificios restantes de este campus se tiene un consumo y coste similar excepto en el Torres Quevedo que consume menos energía eléctrica al no disponer de sistema de refrigeración centralizado y usar calderas de gas en la calefacción. En el campus San Francisco destaca la Facultad de Derecho con un consumo importante y una facturación por m² incluso mayor que la del Edificio I+D. Los menores consumos y costes por superficie se producen en el edificio Bellas Artes del campus de Teruel.

3.7.3. Gas natural

En la tabla 14 se ha hecho la misma comparación pero ahora para el consumo y facturación de gas natural.

Gas natural (2018)	Consumo (kWh/m ²)	Facturación (€/m ²)
Hospital Veterinaria	132,61	6,76
Facultad Derecho	131,32	6,70
Facultad Veterinaria	117,71	6,00
Facultad Ciencias de la Salud	106,18	5,63
Pablo Serrano	97,44	5,07
Paraninfo (F. Economía y Empresa)	96,79	4,84
Torres Quevedo	96,67	4,83
Edificio I+D	96,67	4,93
CE Teruel	95,86	5,08
Facultad Medicina	79,99	4,24
Interfacultades (rectorado)	73,95	3,85
Facultad Ciencias (mates-geológicas)	68,79	3,51
Facultad Ciencias (físicas-químicas)	65,01	3,32
Bellas Artes	59,93	3,30
Betancourt (laboratorios, cafetería)	2,41	0,16

Tabla 14. Consumo gas natural y facturación m² de los edificios universitarios en 2018. Fuente: elaboración propia

En el campus Río Ebro hay edificios como el Ada Byron y el Lorenzo Normante en los que el consumo de gas natural es despreciable y el Betancourt donde solo se consume en laboratorios y cafetería. Los mayores consumos y costes por m² se producen en el Hospital de Veterinaria y la Facultad de Derecho, superando 130 (kWh/m²·año) y 6 (€/m²·año).

3.7.4. Conclusiones

Los edificios estudiados tienen diferentes tipologías según su funcionamiento y actividad principal llevada a cabo. La mayoría de los edificios analizados pertenecen a la categoría de Facultad y Escuelas de Ciencias o Letras y Aularios. Entre este grupo los edificios que mayores ratios de consumo y coste eléctrico tienen son la Facultad de Derecho (291 kWh/m²·año), Facultad de Veterinaria (238 kWh/m²·año), Hospital de Veterinaria (234 kWh/m²·año) y Facultad de Medicina (159 kWh/m²·año). El único edificio considerado como centro de investigación es el Edificio I+D. En este edificio se produce la mayor ratio de consumo eléctrico (426 kWh/m²·año).

El edificio Betancourt tiene ratios de consumo (83,97 kWh/m²·año) y facturación eléctrica (12,09 €/m²·año) buenos. Una de las causas que posibilita tener estos valores es el buen rendimiento que tienen las bombas de calor con intercambio con el agua del subsuelo en este edificio. En el tfg 'Auditoría energética de las bombas de calor del edificio Betancourt' [33] se obtienen valores EER (coeficiente de eficiencia energética) cercanos a 6 en las bombas de calor. Los edificios Interfacultades o Bellas Artes también tienen ratios de consumo eléctrico y facturación menores en comparación con el resto de edificios.

Los edificios que menores ratios de consumo y facturación de gas natural tienen son la Facultad de Ciencias (químicas-físicas y matemáticas-geológicas), la Facultad de Medicina y el edificio Bellas Artes.

En la mayoría de sistemas de refrigeración de los edificios estudiados se utiliza ventilación natural, obteniéndose un consumo de energía eléctrica promedio de 112 (kWh/m²·año). En los edificios restantes se usa ventilación forzada parcial. El consumo eléctrico promedio en este caso es de 122 (kWh/m²·año), sin incluir el alto consumo del Edificio I+D. Se aprecia cierta tendencia ascendente de consumo eléctrico cuando se utiliza ventilación forzada. En el [Anexo IX](#) se especifican los sistemas de ventilación de cada edificio.

Respecto al sistema de climatización, entre los edificios estudiados solamente hay tres (Betancourt, Ada Byron, Lorenzo Normante) que consumen energía eléctrica (bombas de calor hidrotérmicas) en todo su sistema de climatización. En estos tres edificios se tienen consumos entre 75 y 85 (kWh/m²·año) y un coste desde 10 a 14 (€/m²·año). En los restantes edificios se utilizan calderas de gas natural para el sistema de calefacción, con ratios promedio de 95 y 105 (kWh/m²·año) y entre 4,9 y 5,4 (€/m²·año). El sistema de refrigeración de estos mismos edificios se caracteriza por el uso de enfriadoras condensadas por aire, con consumos eléctricos promedio entre 140 y 165 (kWh/m²·año) y costes de 16 y 22 (€/m²·año). Sumando estos valores se tienen unos costes totales en estos edificios entre 20,9 y 27,4 (€/m²·año). Todo lo comentado se ve representado en la figura 32:

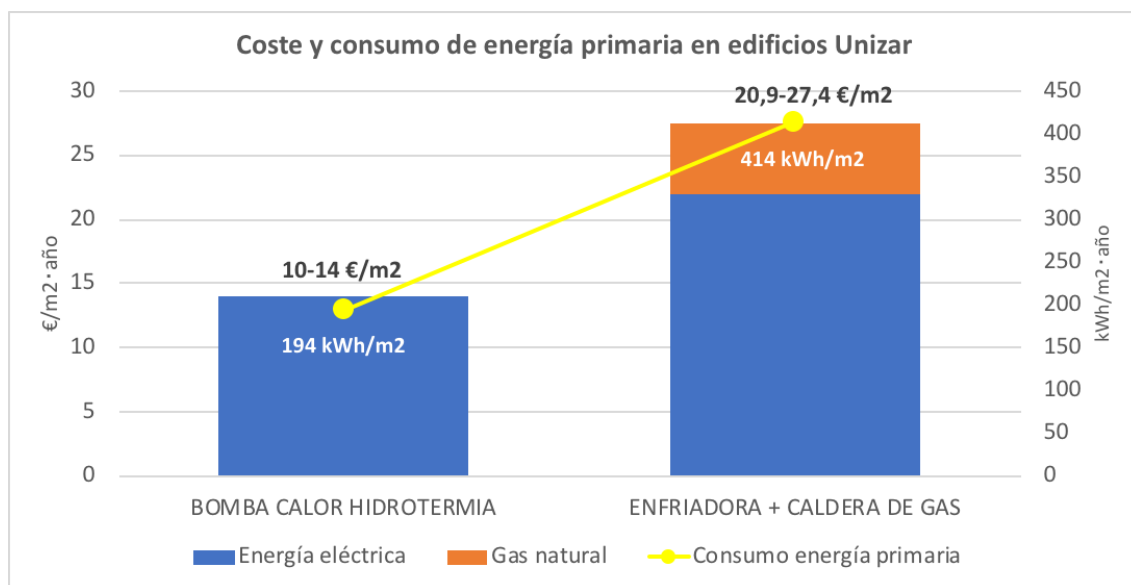


Figura 32. Coste y consumo de energía primaria por m² de los edificios de Unizar según su sistema de climatización en 2018. Fuente: elaboración propia

Los edificios con enfriadora condensada por aire (EER=2-3 aproximadamente) y caldera de gas natural (rendimiento 0,9-1) tienen un consumo promedio de energía primaria muy superior, del orden del doble que los edificios con bomba de calor hidrotérmica

(COP y EER=4-6 aproximadamente). Esto queda también claramente expresado en la figura 33 [34].

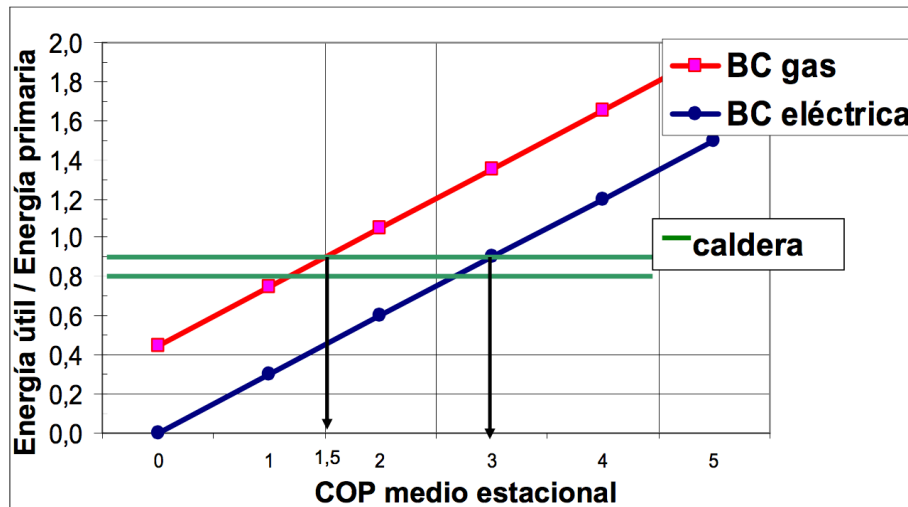


Figura 33. Comparativa de la eficiencia energética entre bomba de calor eléctrica y caldera de gas natural. Fuente: [34]

En esta figura se observa como las bombas de calor con un COP medio estacional superior a 3 de ciclo de compresión de vapor pueden conseguir mejor relación de energía útil entre energía primaria que una caldera de gas natural [34]. Por lo tanto, si los edificios de Unizar con sistema de climatización basado en bombas de calor hidrotérmicas tienen valores altos de COP, conseguirán menores ratios de consumo y coste que aquellos que utilizan caldera de gas natural para calefacción.

Finalmente, se van a indicar aquellos edificios que podrían servir de modelo para la construcción de futuros edificios universitarios. Del campus Río Ebro, el Betancourt, Ada Byron y Lorenzo Normante pueden ser útiles para la construcción de edificios que usen un sistema de climatización consumiendo solamente electricidad (bomba de calor hidrotérmica). En el campus de Teruel el edificio Bellas Artes puede ser una referencia por sus bajos valores de consumo y facturación.

3.8. Influencia del clima

Uno de los factores más influyentes en el consumo de energía de un edificio son las condiciones climáticas del entorno donde se encuentra ubicado, ya que el clima al que se ve sometido influye en la demanda de calefacción, refrigeración e iluminación.

Una de las variables más influyentes en la climatización de la Universidad de Zaragoza es la temperatura exterior, ya que, a partir de los datos de previsión meteorológica proporcionados por AEMET se establecen los horarios de las instalaciones de climatización para los edificios universitarios. Para activar el modo de calefacción la temperatura máxima exterior tiene que ser igual o inferior a 20°C y la temperatura mínima exterior igual o inferior a 13°C, situando la temperatura de confort en el interior del edificio con valores iguales o mayores a 21°C. El modo de refrigeración se activa

cuando la temperatura máxima exterior es igual o superior a 28°C y la temperatura mínima exterior es igual o superior a 16°C [35].

En la figura 34 se muestra la evolución de las horas mensuales de funcionamiento de la climatización y su temperatura media en 2015-2018.

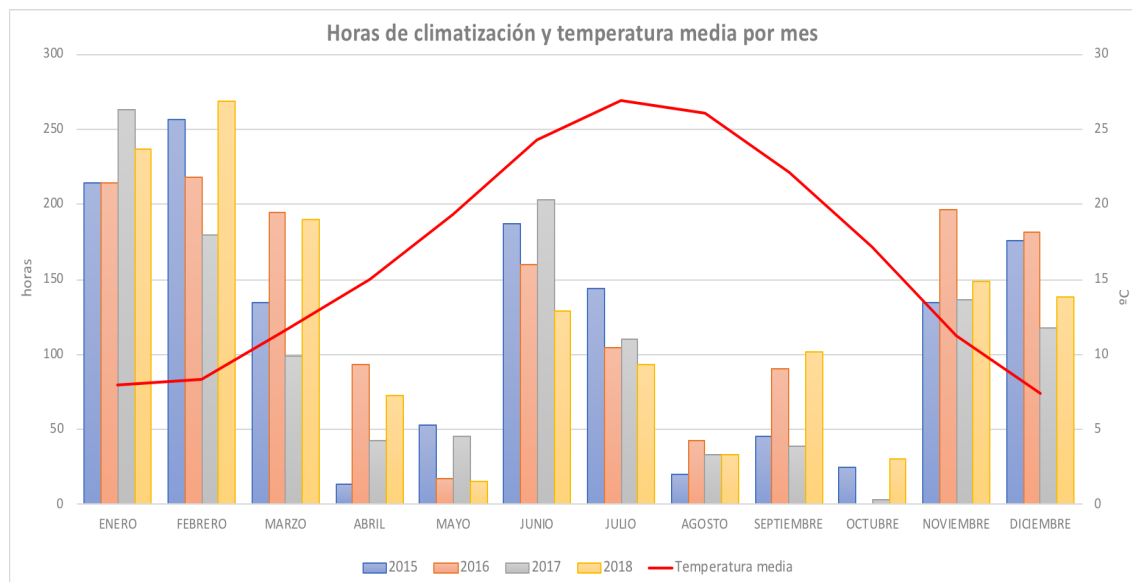


Figura 34. Evolución de las horas de uso de las instalaciones de climatización y temperatura media por mes en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

En los meses desde noviembre a febrero, la época del año en la cual se tienen temperaturas más bajas ($T_{media}=7-8^{\circ}\text{C}$), se produce la mayor utilización de la calefacción, englobando un 55% del uso total. Durante los meses de primavera y otoño se tiene una temperatura más agradable ($T_{media}=16-17^{\circ}\text{C}$), por lo tanto las instalaciones de climatización funcionan durante menos horas con una utilización del 20%. En verano, durante los meses de junio y julio, aumenta el uso de las instalaciones de refrigeración debido a que la temperatura media alcanza sus máximos ($T_{media}=27-28^{\circ}\text{C}$), representando un 20-25% del uso total. Sin embargo, en agosto, a pesar de ser uno de los meses más calurosos, se produce una reducción del tiempo de uso de las instalaciones de refrigeración debido a que tiene lugar un cierre energético durante la primera quincena de este mes.

En la tabla 15 se exponen las horas totales de uso de la climatización en los edificios Unizar en 2015-2018 y su distribución entre el modo calefacción y refrigeración.

Horas	Climatización	Calefacción		Refrigeración	
2015	1403,5	954,5	68,0%	449,0	32,0%
2016	1512,4	1105,5	73,1%	406,9	26,9%
2017	1270,5	840,5	66,2%	430,0	33,8%
2018	1458,0	1085,5	74,5%	372,5	25,5%
Promedio	1411,1	996,5	70,4%	414,6	29,6%

Tabla 15. Porcentajes del uso de las instalaciones de calefacción y refrigeración en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

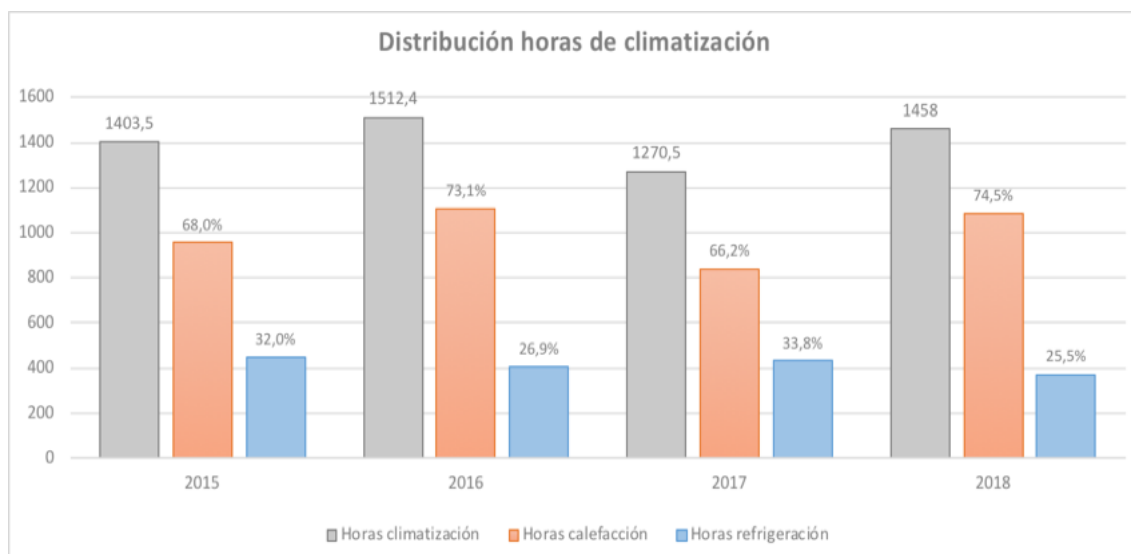


Figura 35. Distribución horas de uso de las instalaciones de calefacción y refrigeración en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

En la figura 35 se ve como la climatización en modo calefacción funciona durante más horas (70%) que el modo refrigeración (30%).

En la tabla 16 se muestra la distribución del consumo energético en los edificios de Unizar según meses de uso de calefacción o refrigeración.

Consumo (kWh)	Total	Meses calefacción		Meses refrigeración	
2015	23.322.677	13.885.920	59,5%	9.436.757	40,5%
2016	23.453.026	14.147.754	60,3%	9.305.272	39,7%
2017	24.069.418	14.275.387	59,3%	9.794.031	40,7%
2018	24.398.322	14.843.279	60,8%	9.555.043	39,2%
Promedio	23.810.861	14.288.085	60,0%	9.522.776	40,0%

Tabla 16. Distribución del consumo durante los meses de uso del modo calefacción y refrigeración en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

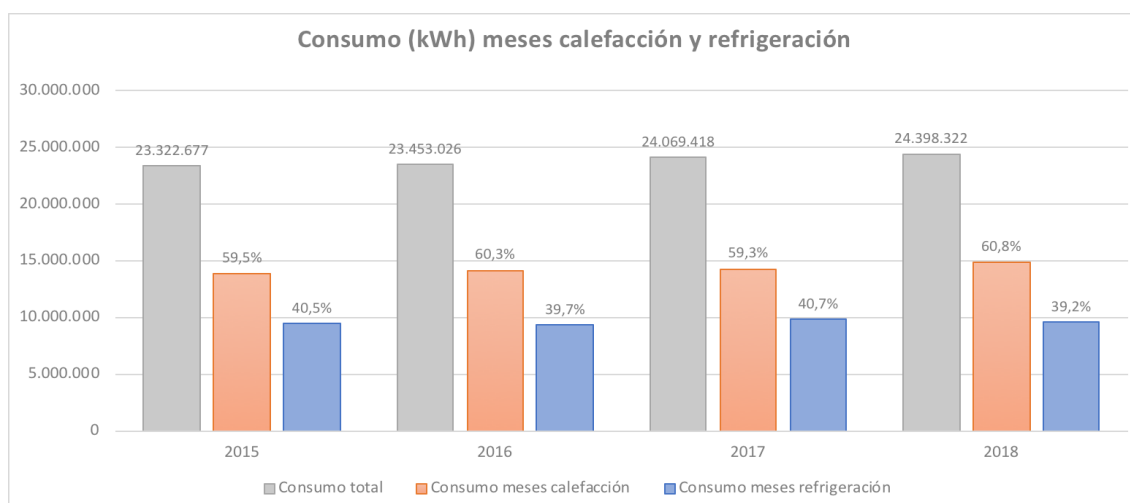


Figura 36. Porcentajes del consumo durante los meses de uso del modo calefacción y refrigeración en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

En la figura 36 se aprecian unos valores promedio del 60% para el consumo durante los meses de uso de calefacción y el restante 40% para los meses del modo refrigeración. Se sigue la tendencia de los resultados analizados para las horas de uso de las instalaciones de calefacción (70%) y refrigeración (30%). Por lo tanto, se puede ver la influencia que tiene el uso de la climatización en el consumo energético de los edificios de La Universidad de Zaragoza.

En el [Anexo VIII](#) se muestran tablas y gráficos sobre el consumo energético y horario de uso de la climatización.

3.9. Edificio Betancourt

En este apartado se va realizar un análisis más detallado del consumo energético y los cerramientos exteriores del edificio Betancourt, ya que ha sido el edificio donde más tiempo he pasado cursando mi grado de Ingeniería de Tecnologías Industriales y me parece interesante conocer su sistema de climatización. Además, es el edificio del que más información se dispone y, como se ha expuesto anteriormente, tiene ratios de consumo y coste por unidad de superficie muy interesantes.

3.9.1. Consumo eléctrico total

En la tabla 17 se muestra la distribución del consumo de energía eléctrica en el Betancourt cada mes de 2016.

2016	Consumo total (kWh)	Porcentaje
Enero	228.393	10,9%
Febrero	228.091	10,9%
Marzo	190.664	9,1%
Abril	157.471	7,5%
Mayo	134.159	6,4%
Junio	209.539	10,0%
Julio	141.806	6,8%
Agosto	110.756	5,3%
Septiembre	174.827	8,3%
Octubre	122.897	5,9%
Noviembre	209.029	10,0%
Diciembre	187.272	8,9%
Total	2.094.904	100%

Tabla 17. Proporción del consumo eléctrico Betancourt en 2016. Fuente: elaboración propia

Varios meses están por encima de los 200.000 kWh y del 10% del consumo total. En la figura 37 se representan los datos de la tabla 17.

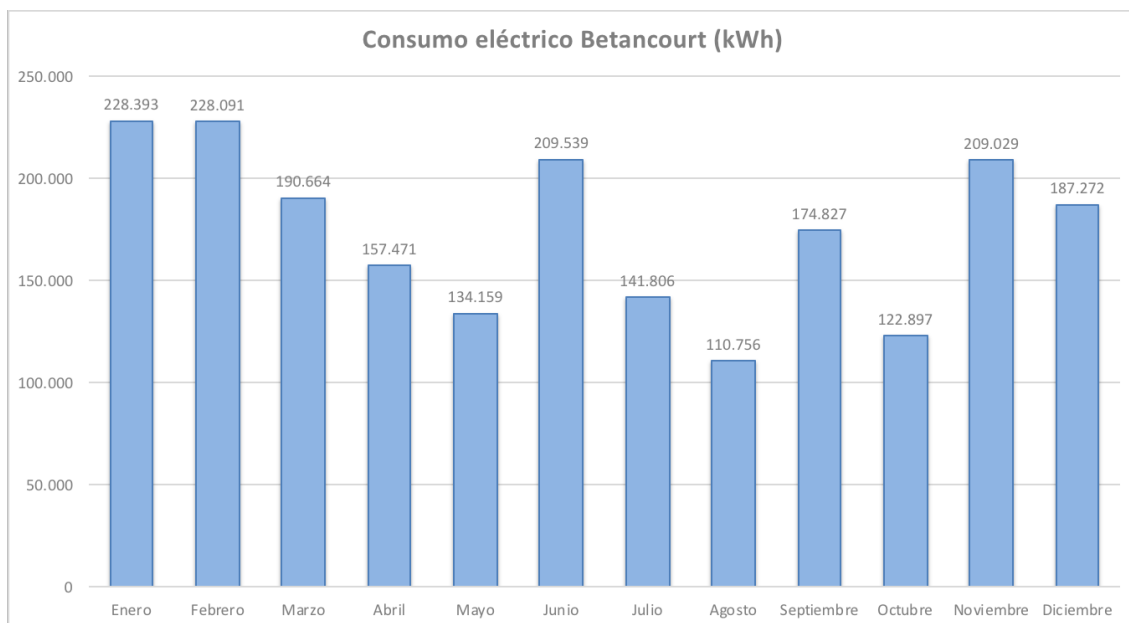


Figura 37. Distribución del consumo eléctrico mensual en el Betancourt en 2016. Fuente: elaboración propia

Los meses de mayor consumo (enero, febrero, junio, noviembre) coinciden con los meses donde mayor número de horas permanece funcionando la climatización del edificio. Del mismo modo meses como mayo, agosto u octubre que cuentan con el menor consumo energético, también coinciden con un menor tiempo de uso de las instalaciones de climatización.

En la tabla 18 se exponen los consumos eléctricos promedio (kWh) de cada mes dependiendo la hora del día.

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Enero	203	210	126	119	119	121	175	328	465	456	457	450	440	437	406	393	390	372	390	375	269	236	216	214
Febrero	136	128	108	107	107	109	243	457	505	517	521	522	515	517	481	469	463	434	436	431	221	176	134	127
Marzo	115	108	109	108	108	109	185	325	412	425	425	421	417	400	333	322	329	342	324	313	168	141	111	107
Abril	116	115	115	114	114	114	186	351	369	368	378	355	341	279	222	218	229	238	249	231	169	157	115	109
Mayo	133	133	114	109	108	107	148	186	207	226	234	223	219	225	241	244	247	221	209	190	171	160	138	134
Junio	146	145	126	120	119	119	156	161	184	285	365	414	480	523	493	516	514	494	482	424	246	173	154	147
Julio	114	112	111	110	109	109	139	130	141	199	303	395	441	437	251	202	195	191	191	189	156	113	118	116
Agosto	104	103	100	98	98	97	119	103	99	102	212	272	306	307	181	150	151	151	152	152	149	143	117	107
Septiembre	126	125	119	116	114	114	161	173	175	225	275	338	383	395	401	395	402	376	359	323	281	188	137	127
Octubre	119	117	121	115	115	114	149	167	177	203	199	203	212	210	200	200	204	185	177	189	188	158	125	119
Noviembre	111	109	108	108	108	107	194	474	495	492	489	446	397	348	316	319	416	461	479	383	218	165	118	112
Diciembre	112	112	113	112	112	112	192	360	396	388	395	395	394	389	366	361	363	358	363	297	179	146	115	112

Tabla 18. Consumo eléctrico horario en el Betancourt en 2016. Fuente: elaboración propia

En las figuras 38 y 39 se muestran estos perfiles horarios para ver la evolución del consumo a lo largo del día según el mes analizado, diferenciando entre invierno y verano.

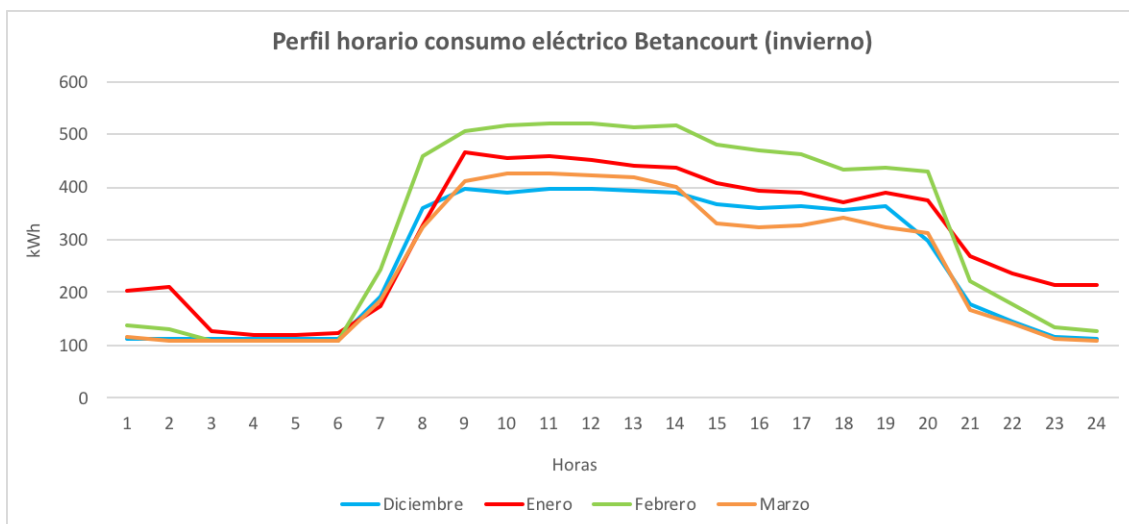


Figura 38. Perfil horario de consumo eléctrico promedio en el Betancourt los meses de invierno. Fuente: elaboración propia

En los meses de invierno se tiene un consumo en torno a los 100 kWh desde las 12 hasta las 7 de la mañana. Seguidamente, se produce un crecimiento brusco de consumo en apenas una hora hasta 400-500 kWh, manteniéndose estable durante 12 horas, desde las 8 de la mañana hasta las 8 de la tarde para, finalmente, descender las 4 horas restantes del día.

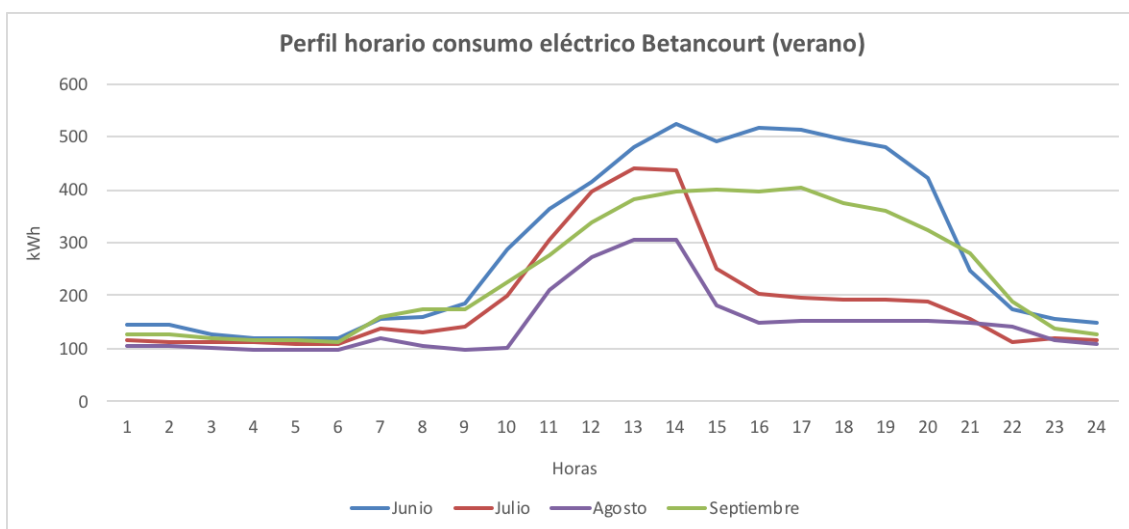


Figura 39. Perfil horario de consumo eléctrico promedio en el Betancourt los meses de verano. Fuente: elaboración propia

En los meses de verano el aumento de consumo se produce a partir de las 9-10 horas de la mañana. Este aumento es más progresivo que en invierno, llegando al pico sobre las dos de la tarde. En junio y septiembre la reducción de este consumo tiene lugar sobre las 8-9 de la tarde. Sin embargo, en julio y agosto esta reducción empieza sobre las 2-3 de la tarde, ya que en estos dos meses la actividad laboral por la tarde es mínima al producirse el cierre del edificio.

3.9.2. Consumo climatización

Finalmente, se ha calculado que proporción del consumo de energía eléctrica total corresponde al uso de las instalaciones de climatización en este edificio. Se relaciona la curva de carga y los perfiles horarios de consumo eléctrico de cada día de 2016 con las horas diarias de utilización de la climatización, teniendo en cuenta el momento de su puesta en marcha y su desconexión. En el [Anexo VIII](#) (consumo climatización Betancourt) se muestra el procedimiento seguido.

2016	Consumo total (kWh)	Horas climatización	Días uso climatización	Consumo climatización (kWh)	%
Enero	228.393	214,5	16	139.189	60,9%
Febrero	228.091	218,0	17	136.946	60,0%
Marzo	190.664	195,0	17	125.003	65,6%
Abril	157.471	93,5	14	56.403	35,8%
Mayo	134.159	17,0	4	11.411	8,5%
Junio	209.539	159,5	19	112.401	53,6%
Julio	141.806	104,5	18	67.797	47,8%
Agosto	110.756	43,0	12	25.399	22,9%
Septiembre	174.827	90,0	10	64.398	36,8%
Octubre	122.897	0,0	0	0	0,0%
Noviembre	209.029	196,5	21	126.544	60,5%
Diciembre	187.272	181,0	14	125.960	67,3%
Total	2.094.904	1.512,5	162	991.450	47,3%

Tabla 19. Proporción del consumo de climatización en el Betancourt en 2016. Fuente: elaboración propia

En la tabla 19 los resultados obtenidos indican que las instalaciones de climatización han sido utilizadas 162 días a lo largo de todo el año, suponiendo casi la mitad (**47,3%**) del consumo eléctrico total del edificio Betancourt.

En la figura 40 se representan los datos mostrados en la tabla 19:

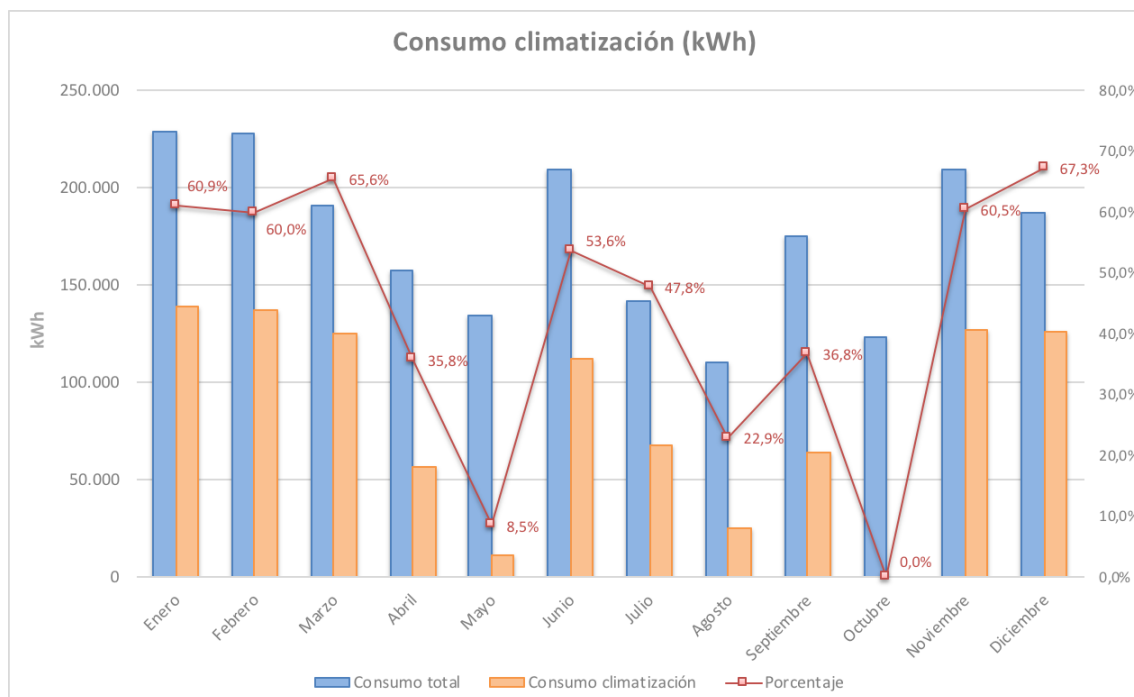


Figura 40. Consumo de climatización en el Betancourt en 2016. Fuente: elaboración propia

Se observa como hay varios meses (enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre) donde el consumo de la climatización supone más de un 60% del consumo eléctrico total, coincidiendo con la época más fría del año, lo que requiere un alto uso de la calefacción. En agosto se tiene un porcentaje de consumo de climatización bajo (23%) comparado con el resto de meses de verano porque la primera quincena de este mes se produce un cierre energético.

3.9.3. Línea base energética

Una línea de base energética, como establece la norma ISO 50001:2018, se define como “una referencia cuantitativa que proporciona la base para la comparación del desempeño energético en un periodo de tiempo especificado”. Se usa para comparar el desempeño real con el de referencia, con el objetivo de calcular ahorros energéticos a través de una referencia antes y después de la implementación de las acciones de mejora del desempeño energético.

Debe ser normalizada utilizando variables que influyan en el uso y consumo de energía, por lo tanto, una línea base se debe modificar cuando se cumpla alguna de las siguientes situaciones: los indicadores de desempeño energético ya no reflejan el uso y el consumo de energía de la organización, cuando se hayan realizado cambios importantes en los procesos, patrones de operación, o sistemas de energía; o si así lo establece un método predeterminado.

Se va a implementar una línea base energética utilizando como variable de referencia los grados día de calefacción mensual. Para el cálculo de los grados día de calefacción se ha tomado como referencia una temperatura de confort interior de 21°C. Los datos utilizados para la realización de esta línea base han sido, por un lado, el consumo

energético mensual desde 2015 a 2018 del edificio Betancourt y las temperaturas medias diarias y mensuales durante estos 4 años [36].

En la figura 41 se muestran las líneas base energéticas obtenidas en estos cuatro años superpuestas. En el [Anexo X](#) se amplía información y se puede ver cada una de las líneas base energéticas de forma separada.

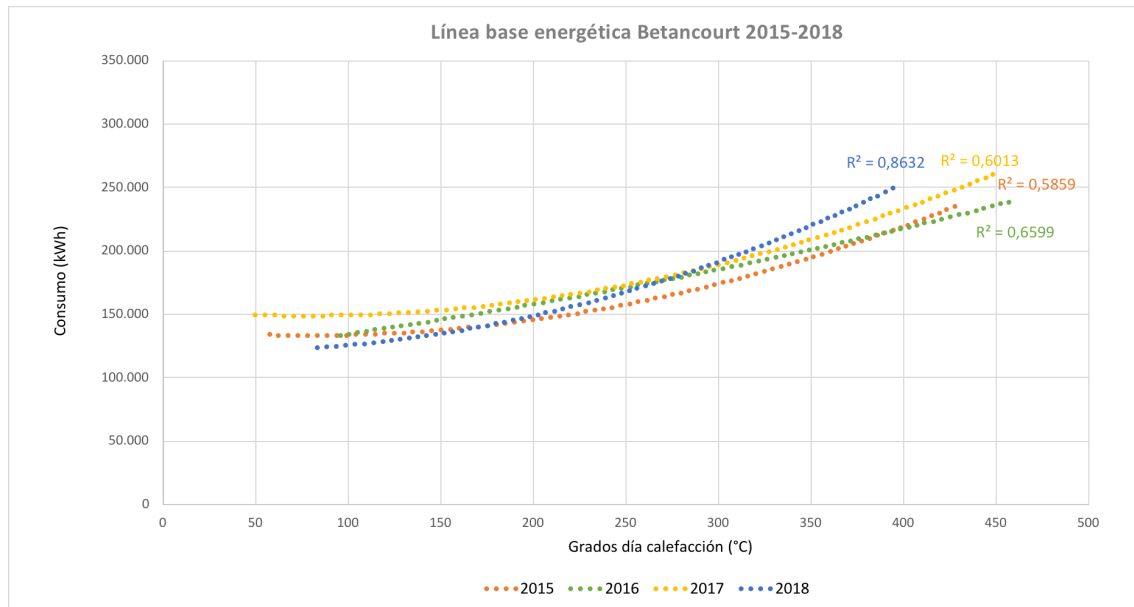


Figura 41. Línea base energética (GDC) del edificio Betancourt en 2015-2018. Fuente: elaboración

En la realización de esta línea base no se ha considerado el consumo energético en junio, julio, agosto y septiembre porque los grados día de calefacción obtenidos para estos meses eran mínimos en comparación con el resto del año. Lo ideal sería que cada año la curva, además de tener una tendencia similar, se posicionase por debajo del año anterior para ver una mejora en la eficiencia energética del edificio, cosa que no ocurre.

Una de las razones por la que no se aprecia una reducción de consumo y mejora de la eficiencia energética puede ser el aumento de horas de uso de la calefacción en 2018. Este aumento está relacionado con los días de niebla intensa que hubo este año. Los grados días calefacción obtenidos en 2018 fueron superiores a los de 2017. Por lo tanto, las órdenes de aumentar el horario de calefacción pueden estar justificadas para mantener una sensación de confort adecuada en el interior del edificio.

Para tener en cuenta también el consumo de energía en los meses junio, julio, agosto y septiembre se han realizado las líneas base del Betancourt en 2015-2018 relacionando el consumo con la temperatura media mensual.

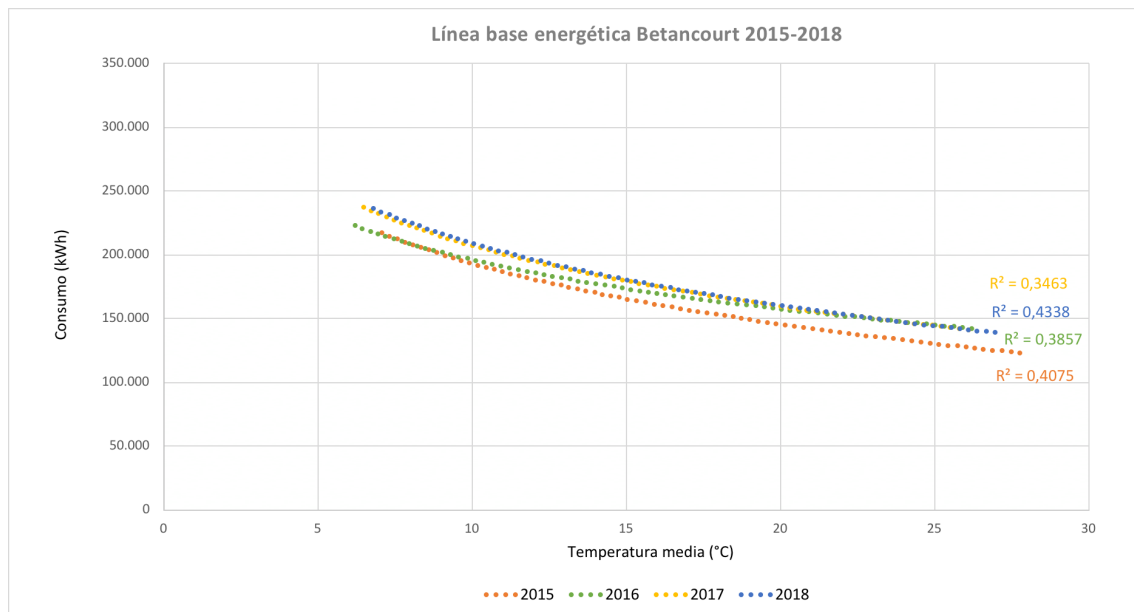


Figura 42. Línea base energética (T_{media}) del edificio Betancourt en 2015-2018. Fuente: elaboración

Al igual que en el análisis anterior, el objetivo es que la curva cada año se vaya situando por debajo de la curva del año anterior para lograr una mejora de la eficiencia energética del edificio. Otra posible causa de no apreciar una mejora evidente de eficiencia energética es el deterioro progresivo cada año de las instalaciones de climatización, lo que provoca una reducción de su rendimiento y, a su vez, un aumento del consumo energético en el Betancourt.

3.9.4. Cerramientos exteriores

En el [Anexo XII](#) se muestra información relativa a la localización y descripción del edificio Betancourt, los diferentes cerramientos que componen su envolvente exterior, los usos de espacios por planta y el perfil de usuarios que integran este edificio.

En un estudio de La Universidad de Zaragoza [37] se realizó un análisis termográfico y se evidenció que disminuyendo la transmitancia térmica de los vidrios de las ventanas se mejoraba el aislamiento térmico del edificio reduciendo la demanda de calefacción un 40%. Por lo tanto, se observa la influencia que pueden tener los elementos de la envolvente exterior de un edificio en su consumo y eficiencia energética.

3.10. Condiciones interiores y ocupación

La ocupación por parte de los usuarios es un factor influyente en el uso y consumo energético de los edificios. Es difícil estimar el consumo de energía en la etapa de funcionamiento debido al comportamiento y horario de operación de los usuarios. En 2011 un estudio sobre el grado de eficiencia de los usuarios en los edificios mostró que el usuario es responsable del 30% del consumo energético no previsto en la etapa de funcionamiento del edificio [38]. Siguiendo la misma línea, otro estudio en 2015 indicó

que el comportamiento del usuario en un edificio afecta hasta un 33% la eficiencia energética [39].

3.10.1. SeñaliZAR (UZ)

SeñaliZAR es una iniciativa impulsada desde la EINA y la Universidad de Zaragoza [40] que cuando se encuentre operativa puede ser de gran utilidad para conseguir una mejora de la eficiencia y ahorro energético en los edificios de La Universidad de Zaragoza, relacionando los datos medidos de consumo energético con las condiciones de confort, teniendo en cuenta la ocupación de los espacios y el comportamiento de los usuarios en el interior de los edificios universitarios. En el [Anexo XII](#) (SeñaliZAR) se explica que tipo de servicio ofrece este proyecto.

3.10.2. Condiciones interiores en el campus Río Ebro

La Oficina Verde llevó a cabo un estudio en el campus Río Ebro de La Universidad de Zaragoza para conocer la opinión general de sus ocupantes sobre el nivel de satisfacción que tienen en sus espacios de trabajo. Este análisis se realizó mediante una encuesta a los estudiantes, personal de Administración y Servicios (PAS) y personal de Docencia e Investigación (PDI). En el [Anexo XI](#) se explican los resultados obtenidos más destacables.

Las conclusiones finales extraídas revelan que en invierno los tres grupos (PAS, PDI y estudiantes) prefieren temperaturas de confort de 21-23°C, mientras que en verano el rango es de 21-23°C para PAS, de 24-26°C para PDI y de 17-20°C para los estudiantes.

Para poner en contexto estos resultados, hay que tener en cuenta las condiciones ambientales en los lugares de trabajo expuestas en el Real Decreto 486/1997 [41] y las medidas establecidas en el Real Decreto 1826/2009 [42] que obligan a limitar las temperaturas en el interior de los edificios. En invierno la temperatura mínima es de 17°C y la temperatura máxima cuando se usa la calefacción es de 21°C, mientras que en verano la temperatura mínima cuando se utiliza el sistema de refrigeración es de 26°C y la temperatura máxima es 27°C. Por lo tanto, se puede estar entre 21°C y 26°C siempre que no se consuma energía proveniente del uso de los sistemas de climatización.

Por otro lado, los encuestados determinaron que las zonas más frías corresponden a los pasillos, los baños y la planta calle. Por el contrario, los lugares donde se tienen temperaturas más agradables son los despachos, la cafetería, los laboratorios y las aulas.

Por lo tanto, es necesaria la implantación de una serie de mejoras en la climatización de espacios amplios (pasillos, planta calle). Una opción podría ser la de cambiar el horario de uso de las instalaciones de calefacción en función del tránsito de los ocupantes por estas zonas.

3.11. Conclusiones

En este capítulo primero se muestra la evolución en La Universidad de Zaragoza del consumo eléctrico con un aumento del 4,6% (2015-2018) y del consumo de gas natural, destacando un crecimiento del 19% en 2018 por el aumento de horarios de calefacción. Destaca el alto consumo eléctrico del Edificio I+D con una ratio de 426 (kWh/m²·año).

En el cálculo de las emisiones totales de dióxido de carbono se observa un importante descenso del 70% en 2017 gracias a la compra de energía con garantía de origen renovable por parte de Unizar.

Respecto al análisis económico, en el caso de la electricidad en 2015 tiene lugar la mayor facturación a pesar de ser el año que menos energía eléctrica se consume. Esto ocurre porque La Universidad de Zaragoza compró en 2016 la electricidad de los años 2017 y 2018, consiguiendo un buen precio del kWh eléctrico. Por otro lado, el importante aumento de consumo de gas natural (19%) en 2018 explica que la facturación más alta se produzca este año.

A continuación, se relacionan los resultados obtenidos del análisis económico con los sistemas de climatización usados en los edificios universitarios. Solamente tres de los edificios analizados (Betancourt, Ada Byron, Lorenzo Normante) consumen energía eléctrica, mediante bombas de calor de intercambio con el agua del subsuelo para todo su sistema de climatización. Se evidencia que estos edificios tienen costes (10-14 €/m²·año) menores que aquellos que usan caldera de gas natural para calefacción y enfriadora condensada por aire en refrigeración, que suman unos costes totales entre 20,9 y 27,4 (€/m²·año).

Se han indicado varios edificios que pueden ser referencia para futuros edificios universitarios. Del campus Río Ebro, el Betancourt, Ada Byron y Lorenzo Normante pueden servir de modelo para la construcción de edificios que requieran un sistema de climatización basado en bomba de calor hidrotérmica. En el campus de Teruel el edificio Bellas Artes puede ser una referencia por sus bajos ratios de consumo y coste, especialmente por contar con buenos rendimientos de sus calderas de gas natural.

Se expone el mayor tiempo de uso de las instalaciones de calefacción (70%) sobre las de refrigeración (30%). También se ha obtenido que durante los meses de uso de calefacción se consume más energía eléctrica (60%) que durante el uso de refrigeración (40%). Mediante la representación de la línea base energética del Betancourt de los años 2015-2018, donde se relaciona el consumo energético con los grados días calefacción, se aprecia que la tendencia de las curvas no evidencia una mejora de la eficiencia energética del edificio Betancourt a lo largo de estos cuatro años.

Por último, se evidencia como hay que tener en cuenta la ocupación interior de los usuarios ya que puede ser responsable de un 30-33% del consumo energético no previsto durante la etapa de funcionamiento de un edificio.

4. CONCLUSIONES

Se han extraído una serie de conclusiones finales durante la realización de este TFG. Estas conclusiones se han separado en dos bloques principales: primero se van a exponer las conclusiones generales y, seguidamente, las específicas.

- **Conclusiones generales:** extraídas mediante la búsqueda y recopilación de información en diferentes fuentes bibliográficas (estudios, trabajos, tesis, normativa...).
1. Contexto de la energía y normativa: se expone la tendencia ascendente del consumo de energía primaria y de emisiones de CO₂, tanto mundial como en España. Se ha revisado la normativa relativa a la eficiencia y ahorro energético en edificios a lo largo de los últimos años. Se ha evidenciado la importancia de realizar certificaciones y auditorías energéticas a la hora de analizar la eficiencia energética de los edificios.
 2. ODS y La Universidad de Zaragoza: se ha puesto de manifiesto la relación de La Universidad de Zaragoza desde 2018 con el cumplimiento de los ODS, especialmente los relacionados con el consumo energético en los edificios universitarios.
 3. Certificación energética en edificios: se muestra que, tanto en la Unión Europea como en España, una de las prácticas habituales para determinar el rendimiento energético en edificios consiste en su simulación mediante un software de modelado térmico. Hay una brecha evidente entre el consumo de energía real y el calculado (simulación), siendo superior el consumo real.
- **Conclusiones específicas:** se centran en el análisis de los datos proporcionados por la Oficina Verde.
4. Datos de la Oficina Verde: la información proporcionada por la Oficina Verde ha sido muy útil. Sin embargo, respecto a los datos de consumo mensual proporcionados mediante la herramienta GESTINEL, se han encontrado varios edificios agrupados en un mismo edificio o facultad, como la Facultad de Derecho. Por lo tanto, si es posible, para los próximos años podría ser conveniente la medición de consumo de cada edificio por separado. También se cree que para los próximos años sería interesante, además de indicar el consumo total de energía eléctrica y gas natural en los edificios, conocer la distribución de estos consumos según sus principales usos energéticos como climatización, iluminación, equipamiento técnico (aparatos electrónicos) y su consumo de stand-by etc... Por tanto, una posible propuesta de mejora consistiría en la instalación de medidores de consumo parcial en los edificios para conocer la distribución del consumo entre los principales usos energéticos.
 5. Consumo de energía en La Universidad de Zaragoza: el consumo eléctrico en los edificios Unizar estudiados sufre un descenso del 22,5% en 2011-2015 (ver figura 7). En los cuatro años siguientes (2015-2018) se mantiene más estable con un ligero crecimiento del 4,6% (ver figura 8). El consumo de gas natural desciende, gracias a

la regulación de horarios desde la Oficina Verde, un 35% desde 2011 hasta 2015. Seguidamente, de 2015 a 2017 este consumo se mantiene estable hasta que en 2018 se produce un crecimiento del 19% debido a órdenes de aumentar horarios y a los días de intensa niebla (ver figura 14).

6. Edificio de investigación I+D: es el edificio con mayor consumo eléctrico por unidad de superficie ($425 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$). Este elevado consumo se debe, principalmente, a la producción de frío continua de su sistema de refrigeración para dar servicio a centros de procesamiento de datos (CPDs) y sus clústeres informáticos.
7. Consumo en stand-by: se ha realizado un análisis de la demanda de potencia media en stand-by (horario nocturno) de varios edificios de Unizar desde 2017 hasta 2020 (durante el Covid 19), siendo el Edificio I+D el que mayor demanda en stand-by tiene con un valor cercano a los 500 kW en 2020 (ver figura 11).
8. Comparación con otras universidades: los consumos promedio de energía eléctrica obtenidos en los edificios de Unizar son $110\text{-}130 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$, mientras que el estudio del IDAE en 2011 muestra que las universidades españolas están entre $50\text{-}70 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$ (ver figura 13). Respecto a los consumos de gas natural, en La Universidad de Zaragoza se han obtenido promedios entre 85 y 95 ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$), mientras que las universidades españolas, según el estudio del IDAE, tienen consumos cercanos a 50 ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$) (ver figura 17). Por lo tanto, esto refleja que varios edificios de Unizar necesitan una revisión de su consumo energético.
9. Consumo de energía primaria 2018: se evidencia que el consumo de energía primaria eléctrica (77%) en los edificios estudiados de Unizar es muy superior al de gas natural (23%) (ver tabla 7). Se han comparado los consumos de energía primaria obtenidos en los edificios de Unizar con dos criterios. Primero con el valor límite establecido en el CTE-2019 ($238 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$), evidenciando que hay varios edificios por encima de este valor y que necesitan una revisión de su consumo energético. El segundo criterio, más restrictivo, ha sido el consumo límite de un edificio Passivhaus ($120 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$), reflejando que los edificios de Unizar todavía están muy lejos de alcanzar estos rangos de consumo (ver figura 23).
10. Cumplimiento del CTE HE-0 (2019): respecto al ratio de consumo de energía primaria ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$), de los 17 edificios analizados solamente 6 se encuentran por debajo del valor límite establecido por el CTE HE-0 ($238 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$) para esta tipología de edificios y zona climática. El resto de edificios exceden este valor límite en un rango de $185\text{-}285 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{año}$, llegando a doblarlo en algunos casos (ver figura 23).
11. Emisiones de CO_2 : lo más destacable de los resultados obtenidos es el descenso del 70% que sufren las emisiones totales en 2017 (ver tabla 8). Esto se debe a que, a partir de este año, La Universidad de Zaragoza compra la energía eléctrica con garantía de origen renovable, por lo tanto las emisiones por consumo de electricidad se consideran nulas.

12. Análisis económico: el cálculo de los costes totales por unidad de superficie en los edificios estudiados refleja que la mayor parte de facturación en La Universidad de Zaragoza se debe al consumo de electricidad (82%), siendo cuatro veces superior al coste por consumo de gas natural (18%) (ver tabla 11).
13. Sistemas de climatización: las instalaciones de climatización de Unizar se basan en diferentes sistemas. Entre los edificios estudiados, solamente tres (Betancourt, Ada Byron y Lorenzo Normante) usan bombas de calor hidrotérmicas tanto para calefacción como para refrigeración. Los edificios restantes usan caldera de gas natural en su sistema de calefacción. La mayor parte de los edificios que usan caldera de gas para la calefacción, usan enfriadoras en su sistema de refrigeración basadas en un ciclo de compresión de refrigerante. El Torres Quevedo es el único edificio que no dispone de sistema de refrigeración.
14. Consumo y facturación (sistema de climatización): solo hay tres edificios de los estudiados (Betancourt, Ada Byron, Lorenzo Normante) en los que se consume energía eléctrica para el sistema de calefacción en forma de bomba de calor hidrotérmica, teniendo ratios de consumo entre 75 y 85 (kWh/m²·año) y coste entre 10 y 14 (€/m²·año). En el resto de edificios el sistema de calefacción funciona en base a caldera de gas, con valores promedio de consumo y coste oscilando entre 95 y 105 (kWh/m²·año) y entre 4,9 y 5,4 (€/m²·año). Estos edificios consumen electricidad (enfriadoras) para el funcionamiento de su sistema de refrigeración, teniendo consumos entre 140 y 165 (kWh/m²·año) y costes entre 16 y 22 (€/m²·año). Sumando estos valores se tienen unos costes totales en estos edificios entre 20,9 y 27,4 (€/m²·año). Es decir, los edificios que utilizan el sistema de hidrotermia de baja temperatura en su sistema de climatización tienen mejores ratios económicos y, en este sentido, son más recomendables de cara a una posible construcción de edificios universitarios en un futuro.
15. Valores límite de consumo eléctrico por m²: entre los edificios estudiados los mayores consumos eléctricos se producen en el edificio I+D (425 kWh/m²·año), por su carácter de investigación y en la Facultad de Derecho (291 kWh/m²·año). En el resto de edificios destacan los altos consumos en la Facultad de Veterinaria (237 kWh/m²·año) y el Hospital de Veterinaria (233 kWh/m²·año). El menor consumo se produce en el edificio Bellas Artes del campus de Teruel con 17 (kWh/m²·año) (ver figura 12).
16. Valores límite de consumo gas natural por m²: los mayores consumos se tienen en el Hospital de Veterinaria (132 kWh/m²·año) y la Facultad de Derecho (131 kWh/m²·año). Por el contrario, el menor consumo de gas natural se tiene en el edificio Bellas Artes (60 kWh/m²·año) (ver figura 16).
17. Influencia de la ubicación geográfica: hay que mencionar que el uso de la refrigeración en los edificios situados en el campus de Teruel es mínimo, ya que en verano la temperatura media en Teruel es menor que en Zaragoza. Esto se puede relacionar con el bajo consumo eléctrico del edificio Bellas Artes que se ha mencionado en la conclusión 15.

18. Influencia del sistema de ventilación: en el sistema de refrigeración de los edificios estudiados se utilizan dos tipos de ventilación. La mayoría de estos usan ventilación natural, teniendo un consumo de energía eléctrica promedio de 112 (kWh/m²·año). Los edificios restantes usan ventilación forzada parcial, con un consumo de electricidad promedio de 122 (kWh/m²·año). De esta manera, se puede observar cierta tendencia ascendente de consumo eléctrico cuando se utiliza ventilación forzada.
19. Edificios referencia en un futuro: se ha seleccionado una serie de edificios a tener en cuenta para el futuro. En el campus Río Ebro el Betancourt, Ada Byron y Lorenzo Normante puede servir de referencia para la construcción de edificios que consuman energía eléctrica para todo su sistema de climatización (bomba de calor hidrotérmica), ya que, como se ha indicado en la conclusión 14, con este tipo de tecnología se consiguen menores consumos y costes por unidad de superficie que en el resto de edificios. En el campus de Teruel el edificio Bellas Artes destaca por su bajo consumo y coste eléctrico. Es un edificio muy luminoso, que cuenta con calderas de gas natural de condensación (Weishaupt WTC-GB 250) con buenos rendimientos sobre PCS (99,4%) y PCI (110,3%) [43].
20. Influencia del uso de la climatización: los resultados muestran que el tiempo de uso de la calefacción (70%) es claramente superior al uso del modo refrigeración (30%) (ver tabla 15). Además, el consumo energético que se produce durante los meses de uso de calefacción supone un 60% del consumo total, frente al 40% restante en los meses de utilización del modo refrigeración (ver tabla 16).
21. Consumo del Betancourt: se ha obtenido que el consumo de la climatización supone un 47% del consumo eléctrico total de este edificio (ver tabla 19).
22. Línea base energética (Betancourt): se implementan las líneas base energéticas (2015-2018) para ver como evoluciona la relación del consumo en el edificio Betancourt con los grados día de calefacción mensual, evidenciando como la tendencia de estas líneas base no indica una mejora en la eficiencia energética del edificio.

5. RECOMENDACIONES Y LÍNEAS DE FUTURO

Finalmente, en base a las conclusiones extraídas en la realización de este trabajo fin de grado, se van a exponer varias recomendaciones y líneas de posibles futuros trabajos para seguir avanzando en el estudio sobre el desempeño energético de los edificios de La Universidad de Zaragoza.

1. Se recomienda la implantación de equipos y **medidores de consumos parciales** en los edificios para conocer la distribución del consumo total entre sus **principales**

usos energéticos. Esta instalación podría estar controlada a través de un sistema como SCADA o similar que permita averiguar los focos principales de consumo y facilitar la toma de decisiones para conseguir un ahorro energético.

2. Los resultados obtenidos en el análisis de ratios de consumo y coste energético por unidad de superficie reflejan que hay varios edificios de La Universidad de Zaragoza con ratios demasiado altos y que sería recomendable su **revisión** a través de una **auditoría energética**:

- **Edificio I+D:** sería interesante poder estudiar la implantación de un **sistema de recuperación de calor** para aprovechar la alta producción de frío utilizada para refrigerar los centros de procesamiento de datos, consiguiendo producir agua caliente para la calefacción de este edificio durante el invierno y reducir el consumo energético de este edificio. Otra acción recomendable en este edificio puede ser la **monitorización de los consumos en stand-by**, localizando los focos principales de este consumo para conseguir una reducción del consumo eléctrico total del edificio.
- **Facultad de Derecho:** desde el centro de transformación de este edificio se abastecen otros edificios (Filosofía, Educación, ICE), por lo tanto, para los próximos años se recomienda estudiar la opción de instalar analizadores de redes en los cuadros de baja tensión de estos edificios para disponer de sus **consumos por separado** y no agrupados (GESTINEL). La Facultad de Derecho en 2019 ha sufrido una **rehabilitación** de sus ventanas (triple vidrio) y mejora de la cubierta. Sería deseable si es posible la recopilación de información y el análisis de datos para evaluar la **influencia** de esta **reforma** en el **consumo energético** del edificio.
- **Facultad y Hospital de Veterinaria:** ambos edificios del campus de Veterinaria necesitan una **revisión de su sistema energético**, ya que tienen consumos y costes por m² muy elevados por detrás del Edificio I+D y la Facultad de Derecho.
- **Facultad de Medicina:** este edificio también tiene malos ratios de consumo y coste por unidad de superficie. Está pendiente de **rehabilitar** y sería deseable poder **analizar** los **consumos antes y después** de esta **reforma**.
- **Paraninfo y Facultad de Economía y Empresa:** este edificio tiene uno de los mayores consumos de gas natural de Unizar, sufriendo un aumento paulatino en los últimos años. Esto se produce al no disponer de un horario fijo de uso de la climatización por parte de la Oficina Verde, por lo tanto, se propone si es posible estudiar la opción de establecer un **horario fijo** para reducir el consumo energético de las **instalaciones de climatización** de este edificio.

3. Por el contrario, hay otros edificios universitarios estudiados con buenos ratios de consumo y coste por unidad de superficie, que pueden servir de **referencia** de cara a **futuros edificios** en otras universidades:

- **Betancourt:** en este edificio puede ser interesante analizar su sistema de climatización basado en **bombas de calor con intercambio con el freático**, ya que se consiguen menores consumos y costes por m² que con otro tipo de tecnologías como enfriadoras (refrigeración) y calderas de gas natural

(calefacción). También se recomienda estudiar la posibilidad de **climatizar** espacios como aulas, despachos, biblioteca o laboratorios de manera **diferente** de las amplias **zonas comunes y pasillos** que posee este edificio.

- **Bellas Artes:** este edificio perteneciente al campus de Teruel es el que menores consumos y costes por unidad de superficie tiene entre los edificios estudiados. Sería conveniente estudiar a fondo el funcionamiento de su sistema de climatización, ya que posee calderas de condensación de gas natural con buenos rendimientos sobre PCS y PCI para calefacción.
4. En relación a los horarios de encendido y apagado de las instalaciones de climatización y la inercia térmica de los edificios, una propuesta interesante puede ser la implantación de **horarios de funcionamiento de climatización más amplios** para conseguir una reducción de consumo en los edificios. Por ejemplo, esta propuesta sería de gran utilidad para el Betancourt, ya que tras el análisis de sus curvas de carga de consumo horario, se observa como en el momento de arranque de las instalaciones de climatización se alcanza el pico de demanda eléctrica, por lo tanto sería buena idea estudiar un posible **arranque secuencial o paulatino** para evitar o reducir estos picos de consumo. Relacionado con esto, también podría ser recomendable hacer un análisis entre usar más o menos horas la **climatización a carga parcial o total** y ver que opción implica menor consumo para el mismo aporte de energía. Sería deseable tener en cuenta todo esto para programar de manera más eficiente desde el punto de vista energético los horarios de encendido y apagado de las instalaciones de climatización.
 5. Sería recomendable si es posible estudiar la opción de **sectorizar y modificar las temperaturas de consigna** en los edificios universitarios según variables como la ocupación o el tránsito de los ocupantes. Un ejemplo claro podrían ser las zonas comunes y pasillos del Betancourt. Una posible opción para conseguir esto es la implantación de la **aplicación SeñalizAR**, una iniciativa impulsada desde la EINA y La Universidad de Zaragoza que ofrece la monitorización en tiempo real de la ocupación de espacios, el tránsito de los ocupantes y la eficiencia y consumo energético. Cuando este proyecto se encuentre operativo puede ser de gran utilidad para conseguir una mejora de eficiencia y ahorro energético en los edificios de Unizar.
 6. Como se ha expuesto en el trabajo, el consumo en stand-by (en horario nocturno) de los edificios de Unizar estudiados es un tema cada vez más importante, siendo necesario un análisis y monitorización detallada de este tipo de consumo para conocer su procedencia y el porcentaje real que supone en el consumo eléctrico total de los edificios universitarios. Para intentar aminorar el consumo en stand-by en los edificios de Unizar hay que centrarse, especialmente, en la correcta desconexión de aparatos periféricos (impresoras, fotocopadoras), equipos informáticos y de laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] La Universidad de Zaragoza y el seguimiento de la Agenda 2030, «Universidad de Zaragoza,» 2019. [En línea]. Available: <https://oficinaverde.unizar.es/los-ods-y-la-universidad-de-zaragoza>. [Último acceso: 21 Febrero 2020].
- [2] Plan de Sostenibilidad 2011-2030, «Universidad de Zaragoza,» 2019. [En línea]. Available: <https://oficinaverde.unizar.es/los-ods-y-la-universidad-de-zaragoza>. [Último acceso: 21 Febrero 2020].
- [3] BP Statistical Review of World Energy, «bp,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>. [Último acceso: 15 Marzo 2020].
- [4] Resumen ejecutivo BP Statistical Review , «bp España,» 2019. [En línea]. Available: https://www.bp.com/es_es/spain/home/noticias/notas-de-prensa/bp-statistical-review-2019.html. [Último acceso: 18 Marzo 2020].
- [5] Actualización de la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España, «Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda urbana,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/planes-estrategicos/estrategia-a-largo-plazo-para-la-rehabilitacion-energetica-en-el-sector-de-la-edificacion-en-espana>. [Último acceso: 15 Marzo 2020].
- [6] IDAE, «Seguimientos Energéticos Sectoriales. Centros Educativos: Universidades,» 2012.
- [7] AENOR, UNE EN 16247-1:2012. Auditorías energéticas. Parte 1: Requisitos generales, Madrid: AENOR, 2012.
- [8] AENOR, UNE EN 16247-2:2014. Auditorías energéticas. Parte 2: Edificios, Madrid: AENOR, 2014.
- [9] Unión Europea, «Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2003-80006>. [Último acceso: 20 Febrero 2020].
- [10] Gobierno de España, «Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2006/03/28/pdfs/A11816-11831.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [11] Gobierno de España, «Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2007/01/31/pdfs/A04499-04507.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [12] Gobierno de España, «Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE),» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35931-35984.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].

- [13] Unión Europea, «Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición),» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2010-81077>. [Último acceso: 20 Febrero 2020].
- [14] Gobierno de España, «Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el DB-HE del CTE, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2013/09/12/pdfs/BOE-A-2013-9511.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [15] Gobierno de España, «Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-3904-consolidado.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [16] Gobierno de España, «Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética,» [En línea]. Available: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-1460. [Último acceso: 25 febrero 2020].
- [17] Unión Europea, «Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2012-82191>. [Último acceso: 20 Febrero 2020].
- [18] Unión Europea, «Directiva 2018/844/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE y la Directiva 2012/27/UE,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2018-81023>. [Último acceso: 20 Febrero 2020].
- [19] E. Burman, D. Mumovic y J. Kimpian, «Towards measurement and verification of energy performance under the framework of the European directive for energy performance of buildings,» *Energy*, vol. 77, pp. 153-163, 2014.
- [20] B. Bordass, R. Cohen, M. Standeven y A. Leaman, «Assessing building performance in use 3: energy performance of the probe buildings,» *Building Research and Information*, vol. 29, nº 2, pp. 114-128, 2001.
- [21] I. Pegg, A. Cripps y M. Kolokotroni, «Post-occupancy performance of five low-energy schools in the UK,» *ASHRAE Transactions*, vol. 113, 2007.
- [22] Carbon Trust, «Closing the gap-lessons learned on realising the potential of low carbon building design,» *Carbon Trust*, 2011.
- [23] L. Tronchin y K. Fabbri, «A round robin test for buildings energy performance in Italy,» *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 1862-77, 2010.

- [24] S. Petersen y C. Hviid, «The European energy performance of buildings directive: comparison of calculated and actual energy use in a Danish office building,» 2012.
- [25] UCL Energy Institute, «Summary of audits performed on CarbonBuzz,» 2013.
- [26] Herrando M, Cambra D, Navarro M, de la Cruz L, Millán G, Zabalba I., «Energy Performance Certification of Faculty Buildings in Spain: The gap between estimated and real energy consumption,» *Elsevier*, nº 125, pp. 141-153, 2016.
- [27] CRUE, «Edificios universitarios. Guía de buenas prácticas,» 2017.
- [28] CIRCE, «Auditoría energética del Edificio de Institutos de I+D+i,» 2012.
- [29] Unidad Técnica de Construcciones y Energía, «Universidad de Zaragoza,» 2016. [En línea]. Available: <https://utce.unizar.es/etiqueta/7>. [Último acceso: 17 Marzo 2020].
- [30] «i3a,» 2018. [En línea]. Available: <https://i3a.unizar.es/es/el-i3a-en-cifras>. [Último acceso: 29 Marzo 2020].
- [31] Gobierno de España, «Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el CTE, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2019/12/27/pdfs/BOE-A-2019-18528.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [32] Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España, «Gobierno de España,» 2014. [En línea]. Available: <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Paginas/IndexDocumentosReconocidos.aspx>. [Último acceso: 20 Marzo 2020].
- [33] Auditoría energética de las bombas de calor del edificio Betancourt. Javier Turón Blas, «Zaguan Unizar,» 2019. [En línea].
- [34] Recknagel-Sprenger-Honmann, «Manual Técnico de Calefacción y Aire Acondicionado,» Madrid, Bellisco, 1993, p. 713.
- [35] Horarios de encendido de las instalaciones generales de frío y calor, «Universidad de Zaragoza. Oficina Verde,» 2020. [En línea]. Available: <https://oficinaverde.unizar.es/horarios-de-encendido-de-las-instalaciones-generales-de-frio-y-calor>. [Último acceso: 23 Marzo 2020].
- [36] «AEMET OpenData,» [En línea]. Available: <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>. [Último acceso: 24 Marzo 2020].
- [37] D. Alonso, «Auditoría y certificación energética del edificio Agustín de Betancourt de La Universidad de Zaragoza,» 2010. [En línea]. Available: <https://zaguan.unizar.es/record/4893?ln=es>.
- [38] E. Kuchen, S. PLESSER y M. N. FISCH, «Eficiencia Energética y Confort en Edificios de Oficina,» 2011.
- [39] A. ALONSO-FRANK, E. KUCHEN y Y. ALAMINO-NARANJO, «Developing an energy efficiency assessment tool for buildings according to user behaviour indoors,» de *The 31st International PLEA Conference Passive Low Energy Architecture: Architecture en (R) Evolution*, Bologna, 2015.

- [40] señalizar, «Universidad de Zaragoza,» [En línea]. Available: <https://eina.unizar.es/señalar>.
- [41] Gobierno de España, «Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1997/BOE-A-1997-8669-consolidado.pdf>. [Último acceso: 19 Mayo 2020].
- [42] Gobierno de España, «Real Decreto 1826/2009, de 27 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios, aprobado por el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2009/12/11/pdfs/BOE-A-2009-19915.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [43] Calderas de condensación de gas Weishaupt WTC-GB hasta 1200 kW, «Sedical,» [En línea]. Available: <https://www.sedical.com/Descargas/calderas-condensacion-grupos-termicos/calderas.pdf>.
- [44] Unión Europea, «Directiva 93/76/CEE del consejo de 13 de septiembre de 1993 relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1993-81535>. [Último acceso: 20 febrero 2020].
- [45] Unión Europea, «Directiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2006-80693>. [Último acceso: 20 Febrero 2020].
- [46] Unión Europea, «Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2009-81013>. [Último acceso: 20 Febrero 2020].
- [47] Unión Europea, «Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2009-82047>. [Último acceso: 20 Febrero 2020].
- [48] Unión Europea, «Recomendación 2016/1318 de la Comisión, de 29 de julio de 2016, sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/doue/2016/208/L00046-00057.pdf>. [Último acceso: 20 Febrero 2020].
- [49] Unión Europea, «Recomendación 2019/786/UE de la Comisión, de 8 de mayo de 2019, relativa a la renovación de edificios,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/doue/2019/127/L00034-00079.pdf>. [Último acceso: 20 Febrero 2020].

- [50] Unión Europea, «Recomendación 2019/1658/UE de la Comisión, de 25 de septiembre de 2019, relativa a la transposición de las obligaciones de ahorro de energía en virtud de la Directiva de eficiencia energética,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/doue/2019/275/L00001-00093.pdf>. [Último acceso: 20 Febrero 2020].
- [51] Gobierno de España, «Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/1999/11/06/pdfs/A38925-38934.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [52] Gobierno de España, «Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), de 20 de diciembre de 2019,» [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [53] Gobierno de España, «Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del RITE, aprobado por el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2013/04/13/pdfs/BOE-A-2013-3905.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [54] Seguimiento del cumplimiento del RD 56/2016, «Asociación de Empresas de Eficiencia Energética,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.asociacion3e.org/documento/seguimiento-del-cumplimiento-del-rd-562016>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [55] Balance de la aplicación del RD 56-2026 en las CCAA, «Asociación de Empresas de Eficiencia Energética,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.asociacion3e.org/noticia/asi-fue-la-jornada-rd-562016-calidad-y-nuevas-tecnologias-para-acelerar-la-transicion-energetica-en-genera-2020>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [56] Gobierno de España, «Real Decreto 564/2017, de 2 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2017/BOE-A-2017-6350-consolidado.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [57] Gobierno de España, «Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el DB-HE y el DB-HS del CTE, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo,» [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2017/06/23/pdfs/BOE-A-2017-7163.pdf>. [Último acceso: 25 Febrero 2020].
- [58] ISO 50001, *Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso*, AENOR, 2018.
- [59] Modelización y simulación de la climatización del centro de datos del BIFI. Andrés Sebastián Toscano Cabrera, «Zaguan Unizar,» 2017. [En línea].
- [60] «Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial,» [En línea]. Available: <http://euitiz.unizar.es/es/edificio.php?seccion=masinfo>. [Último acceso: 8 Abril 2020].

- [61] J. Jiménez, «Estudio y rediseño de los espacios libres de la planta baja del edificio Agustín de Betancourt de la EINA, UZ.,» 2017. [En línea]. Available: <https://zaguan.unizar.es/record/61014?ln=es>.

ANEXOS

Anexo I: Marco normativo en la Unión Europea

Con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de los edificios, aparece en Europa la Directiva 93/76/CEE [44] relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono. En este documento se exponen una serie de acciones que los Estados miembros deben aplicar para mejorar el rendimiento energético en el sector de los edificios e informar sobre su aplicación.

En 2002 se aprueba la Directiva 2002/91/CE [9], cuyo objetivo es fomentar la eficiencia energética de los edificios teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como los requisitos ambientales interiores y la relación coste-eficacia. Estableció una metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada, la certificación energética para los edificios, la inspección periódica de calderas y sistemas de aire acondicionado y la evaluación del estado de las instalaciones de calefacción de más de 15 años.

Cuatro años después nace la Directiva 2006/32/CE [45] sobre la mejora rentable de la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE [44] nombrada anteriormente.

Con el propósito de conseguir, en 2020, un 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo total de la UE, se crea la Directiva 2009/28/CE [46] relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.

En 2010 la Directiva 2002/91/CE [9] se refunde en la Directiva 2010/31/UE [13] relativa a la eficiencia energética de los edificios. Introduce nuevos conceptos como el de marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de eficiencia energética de los edificios, también aparecen los edificios de consumo energético casi nulo (nZEB). Otro tema que trata es la certificación energética de los edificios, además de la inspección periódica de las instalaciones de calefacción y aire acondicionado de los edificios.

Con la Directiva 2012/27/UE [17], por la que se modifica la Directiva 2009/125/CE [47] y se deroga la Directiva 2006/32/CE [45], se busca conseguir el objetivo de eficiencia

energética de un 20% de ahorro para 2020. Para ello se proponen varias medidas como la obligatoriedad para las grandes empresas (no PYMES) de realizar auditorías energéticas de manera independiente por expertos cualificados y acreditados, con fecha límite el 5 de diciembre de 2015 y cada cuatro años.

En 2016 surge la Recomendación 2016/1318/UE [48] en la cual se exponen una serie de directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB) y para que antes de 2020 todos los edificios nuevos sean de este tipo.

En 2018 se produce la modificación de las Directivas 2010/31/UE [13] y 2012/27/UE [17] mediante la Directiva 2018/844/UE [18] buscando reducir la energía necesaria para satisfacer la demanda energética asociada al uso típico de los edificios. El objetivo principal de esta nueva directiva es la aceleración de la renovación rentable de los edificios existentes. Cada Estado miembro llevará a cabo una estrategia a largo plazo para que, en 2050, el parque de edificios sea altamente eficiente desde el punto de vista energético y descarbonizado. Se introducen sistemas de control y automatización de edificios como alternativa a las inspecciones físicas. Además, esta actualización de la EPBD fortalecerá los vínculos entre la financiación pública para la renovación de edificios y los certificados de rendimiento energético.

Finalmente, en 2019 las Recomendaciones 2019/786/UE [49] y 2019/1658/UE [50], con el objetivo de continuar con la misma estrategia a largo plazo de ahorro y eficiencia energética de edificios mencionada en la Directiva 2018/844/UE [18], establecen las directrices que los Estados miembros deben seguir para garantizar una transposición precisa de los requisitos de esta directiva.

La implantación de todas estas directivas, además de sus correspondientes transposiciones y modificaciones, en la Unión Europea a lo largo de los últimos 20-30 años se ha realizado con el objetivo de conseguir una mejora progresiva de la eficiencia energética en los edificios. Los puntos más destacables están relacionados con el aumento del uso de energía proveniente de fuentes renovables, la reducción de las emisiones de CO₂, la renovación de edificios existentes y la búsqueda de edificios de consumo energético casi nulo (nZEB).

Anexo II: Marco normativo en España

En 1999 se publica la Ley 38/1999 [51] de Ordenación de la Edificación (LOE) que regula el proceso de la edificación actualizando y completando la configuración legal de los agentes que intervienen en el mismo. A partir de esta ley se implanta el Código Técnico de la Edificación (CTE) con el Real Decreto 314/2006 [10]. Es el marco normativo que establece y desarrolla las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones. El CTE se compone de varios Documentos Básicos (DB) de carácter técnico para trasladar a la práctica las exigencias detalladas. En nuestro caso, debido a la relación que tiene con el proyecto, nos vamos a centrar en el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) [52] donde se integran los requisitos mínimos de ahorro y eficiencia energética, además del aislamiento térmico en edificios.

El año siguiente surge el Real Decreto 47/2007 [11] que aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. En este mismo año también se redactó el Real Decreto 1027/2007 [12] por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) en el que se establecen las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios. Dos años más tarde se modifica mediante el Real Decreto 1826/2009 [42] que regula varios aspectos relativos a la climatización interior de los edificios para fomentar el ahorro de energía.

En 2013 se aprueba el Real Decreto 235/2013 [15] sobre la certificación energética de los edificios donde aparece la definición de edificio de consumo de energía casi nulo (nZEB) y obliga a los edificios históricos a realizar el certificado energético. Este año también se modifica el RITE mediante el Real Decreto 238/2013 [53] donde se amplía el concepto de reforma de una instalación y se refuerzan las exigencias relativas a inspecciones. Además, el Documento Básico de Ahorro de Energía se actualiza mediante la orden FOM/1635/2013 [14].

Situación en España (RD 56/2016)

En 2016 se aprueba el Real Decreto 56/2016 [16] por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE [17]. Se obliga a las empresas grandes (más de 250 empleados o un volumen de negocio superior a los 50 millones de euros y un balance general que exceda de 43 millones de euros) a realizar auditorías energéticas cada cuatro años cubriendo, como mínimo, el 85% del consumo total de energía final del conjunto de las instalaciones. Como alternativa, las empresas obligadas pueden aplicar un sistema de gestión energética o ambiental certificado por un organismo independiente con arreglo a las normas europeas. Esta ley no se aplica a La Universidad de Zaragoza, ya que es una universidad pública que no lleva a cabo una actividad económica, considerándose como parte de la Administración Pública. Las universidades privadas si deben cumplir este Real Decreto.

Según el Estudio A3e (Asociación de Empresas de Eficiencia Energética) el 34% de las empresas obligadas no habría llevado a cabo la auditoría energética. El 50% de las auditorías energéticas contratadas solo buscan cumplir con la obligación y no persiguen mejorar la eficiencia energética de las empresas. Además, solamente el 29% de las empresas auditadas implantará medidas de mejora y ahorro en 2017 [54].

Cuatro años después de la implantación del RD 56/2016, en 2020, A3e organizó otra jornada en la Feria de Energía y Medio Ambiente para revisar su cumplimiento [55], en la que participaron representantes de la Junta de Andalucía, Castilla y León y Cataluña. Destacaron las dificultades que se han encontrado para manejar el gran volumen de información que recibieron y lo incompleto de algunas de las auditorías realizadas. En Andalucía llama la atención el bajo número de sistemas de gestión de la energía encontrados y el bajo nivel de implementación de las medidas tras la realización de las auditorías energéticas, tan sólo un 1,52% de las empresas. En Castilla y León se pone de manifiesto la poca calidad de los informes de auditoría presentados, ya que sólo un 26%

fueron favorables. Además, al igual que en Andalucía, pocas empresas han implantado sistemas de gestión energética, menos de un 1%. En Cataluña se lamentó la falta de un sistema de acreditación homologable de un auditor para que lleven a cabo las auditorías correctamente. Para solucionar los problemas planteados, se está trabajando en una aplicación informática para mejorar y gestionar toda la información recibida de las auditorías energéticas.

En 2017 se produce la modificación del Real Decreto 235/2013 [15] por el que se aprueba el RD 564/2017 [56]. Los cambios de este documento se centran en la obligatoriedad para los edificios de energía casi nula, los edificios que no necesitan certificación energética y la obligación de exhibir la etiqueta de eficiencia energética en edificios protegidos oficialmente. También se actualiza el CTE mediante la modificación del DB-HE (ahorro de energía) y el DB-HS (salubridad) a través de la orden FOM 588/2017 [57].

En 2018 se aprueba la norma ISO 50001/2018 [58] sustituyendo a la del año 2011. El objetivo de este documento se basa en permitir a las organizaciones establecer los sistemas y procesos para mejorar continuamente el desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de energía, además de la reducción de los impactos ambientales. Esta norma establece los requisitos para la implementación de un sistema de gestión de la energía (SGEn) para una organización.

Finalmente, en 2019 mediante el RD 732/2019 [31] se tiene la última modificación hasta el momento del CTE. Se producen cambios en relación a la eficiencia energética de los edificios, la salud, el confort y la seguridad de los usuarios. El nuevo DB-HE (ahorro de energía) revisa y actualiza los requisitos de eficiencia energética de los edificios establecidos por la Directiva 2010/31/UE [13]. El objetivo se centra en el ahorro de energía en viviendas y la incorporación de energía procedente de fuentes renovables en el sector de la edificación para conseguir un progresivo avance hacia una economía baja en carbono competitiva en 2050.

Durante estos últimos 20 años en España, a través de las normativas mencionadas, se ha intentado avanzar en los siguientes aspectos: realización de auditorías energéticas y sistemas de gestión de energía (SGEn) y certificados de eficiencia energética de los edificios. En definitiva, se busca mejorar el desempeño energético en edificios mediante la reducción de los impactos ambientales, el control de los sistemas de climatización y el cumplimiento de las exigencias de ahorro y eficiencia energética del CTE y el RITE.

Anexo III: Certificación energética en edificios

GAP consumo de energía real y simulado

Como se ha expuesto en la memoria, hay una brecha evidente entre el consumo de energía real y el simulado en la certificación energética de los edificios. En términos generales, esta discrepancia se atribuye a las siguientes causas:

- Respecto al software de modelado y condiciones de diseño:
 - Inexactitudes e imprecisiones en la implementación de las entradas del modelado.
 - Simplificaciones e insuficiencias de la herramienta de simulación, lo que puede conducir a datos pocos realistas sobre la calidad y el diseño del edificio, el comportamiento del usuario o los patrones de ocupación.
- Calidad de construcción: deficiencias y problemas de aprovisionamiento durante el proceso de construcción, como huecos en el aislamiento y puentes térmicos, que generalmente no se consideran en el cálculo del consumo de energía.
- Durante la etapa de uso del edificio:
 - Gestión inadecuada del edificio: si se implementan estrategias inapropiadas, una parte significativa de energía puede desperdiciarse.
 - Ineficiencias operativas.
- Comportamiento del usuario: no puede implementarse en el software de simulación.

Programas de simulación

En España, LIDER-CALENER (HULC) es la herramienta unificada oficial utilizada tanto para verificar el cumplimiento del DB-HE del Código Técnico de Edificación como para la certificación energética de edificios nuevos o existentes. Fue desarrollada por el Ministerio de España de Industria, Energía y Turismo y el Ministerio de Desarrollo. Este software está formado por tres módulos: LIDER, CALENER y PostCALENER.

El programa informático LIDER se utiliza para verificar la limitación de la demanda energética de los edificios. Para empezar, mediante una interfaz gráfica se implementa un modelo 3D del edificio y se introducen las entradas requeridas como las características de la envolvente térmica, datos de las instalaciones de climatización y el horario de funcionamiento teniendo en cuenta la ocupación de los usuarios en el edificio. Posteriormente, se obtienen los resultados de la demanda energética de calefacción y refrigeración para el cumplimiento de la normativa.

CALENER se usa para evaluar la eficiencia energética de los edificios mediante el cálculo del consumo energético. Empieza utilizando el modelo generado con LIDER para simular el comportamiento térmico del edificio con sus instalaciones. Se divide en CALENER VyP, destinado a la calificación energética de edificios residenciales y edificios pequeños y medianos del sector terciario y CALENER GT, que se usa para edificios grandes del sector terciario.

PostCALENER gestiona la inclusión de soluciones singulares y capacidades adicionales relativas a instalaciones y sistemas en CALENER-VyP y CALENER GT, desarrollando escenarios a partir de los resultados obtenidos con CALENER para obtener los resultados modificados correspondientes.

Existen otros programas de simulación térmica autorizados en España para la certificación energética de edificios que se basan en un procedimiento simplificado:

Cerma (edificios residenciales existentes o nuevos), CE3 (edificios existentes) y CE3X (edificios existentes).

Estudio en La Universidad de Zaragoza

En este anexo se explica la información de los edificios de La Universidad de Zaragoza que ha sido introducida para su certificación de eficiencia energética.

De los edificios certificados, se realizó una división entre los académicos, en los que la actividad principal es la enseñanza, y de investigación, en los que predominan las actividades de investigación y laboratorio.

Según esta división se muestran en la figura 1 los perfiles de ocupación en función de los horarios de apertura del edificio, entre semana y fines de semana (sábado). Estos porcentajes se determinaron en función del control de acceso de los trabajadores, las estimaciones de las autoridades universitarias y los horarios académicos (clases de 8-20 h).

Building	Occupancy profile				
	8-9 h	9-14 h	14-16 h	16-18 h	20-22 h
<i>Mon.-Fri.</i>					
Academic (A)	40	100	30	40	20
Research (R)	80	100	35	70	30
<i>Saturday</i>					
Academic (A)	0	2	0	0	0
Research (R)	0	40	5	10	0

Figura III.1. Perfil de ocupación por porcentajes en los edificios de la Universidad de Zaragoza. Fuente: [26]

También se definieron las horas de operación de las diferentes instalaciones de climatización de los edificios. A pesar de que cada edificio opera los sistemas de forma diferente, se establece un patrón común que divide los edificios académicos y de investigación.

Building	Heating system			Cooling system		
	Nov.	Dec.-Mar.	Apr.	Jun.	Jul.-Aug.	Sep.
<i>Mon.-Fri.</i>						
Academic (A)	7-13 h	7-21 h	7-13 h	12-18 h	10-20 h	12-18 h
Research (R)	7-17 h	7-21 h	7-17 h	8-21 h	8-21 h	11-19 h
<i>Saturday</i>						
Research (R)	7-17 h	7-21 h	7-17 h	8-21 h	8-21 h	11-19 h

Figura III.2. Horarios de operación de las instalaciones en los edificios de la Universidad de Zaragoza estudiados. Fuente: [26]

Estos datos de uso y ocupación en términos horarios y de cargas internas de los edificios universitarios se introdujeron en la herramienta de simulación junto con información relativa a la envolvente térmica para obtener el certificado de rendimiento energético.

Anexo IV: Modelo de etiqueta de eficiencia energética en edificios

En el modelo de etiqueta energética hay que introducir la siguiente información:

- Datos del edificio: en este apartado hay que indicar la dirección del edificio, la normativa en vigor el año que se construyó o rehabilitó, el tipo de edificio y la referencia catastral.
- Escala de calificación energética: se presentan los indicadores de consumo de energía primaria ($\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}$) y de emisiones de dióxido de carbono ($\text{kgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{año}$). Dependiendo de estos valores se asigna una letra de la escala energética (A-G) al edificio.
- Registro: el certificado energético debe estar registrado por el propietario del edificio, para poder acceder a la información de este certificado se indica el número de registro.

En la figura 1 se representa un modelo de etiqueta de calificación energética del edificio terminado en España:

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO TERMINADO ETIQUETA

DATOS DEL EDIFICIO

Normativa vigente construcción / rehabilitación:

Tipo de edificio:

Dirección:

Municipio:

Referencia/s catastrales:

C.P.:

C. Autónoma:

ESCALA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

	Consumo de energía $\text{kWh} / \text{m}^2 \text{ año}$	Emisiones $\text{kg CO}_2 / \text{m}^2 \text{ año}$
A más eficiente	<input type="text"/>	<input type="text"/>
B	<input type="text"/>	<input type="text"/>
C	<input type="text"/>	<input type="text"/>
D	<input type="text"/>	<input type="text"/>
E	<input type="text"/>	<input type="text"/>
F	<input type="text"/>	<input type="text"/>
G menos eficiente	<input type="text"/>	<input type="text"/>

REGISTRO

Válido hasta dd/mm/aaaa:

ESPAÑA
Directiva 2010 / 31 / UE

Figura IV.1. Etiqueta de calificación energética del edificio terminado. Fuente: energía.gob.es

En el estudio sobre los edificios de La Universidad de Zaragoza [26], los resultados de la certificación mostraron que el 62% de los edificios tienen una etiqueta de eficiencia energética C y el 24% tienen una etiqueta D. Se puede decir que la mayoría de los edificios de La Universidad de Zaragoza están dentro de los promedios de consumo de energía primaria y de emisiones de CO₂.

Anexo V: Auditoría energética Edificio I+D

En este edificio el sistema de refrigeración tiene una demanda continua durante todo el año, ya que además de refrigerar despachos y oficinas, tiene altas exigencias de producción de frío para dar servicio a los CPDs (Centro de Procesamiento de Datos), que cuentan con gran cantidad de equipamiento informático como clúster de ordenadores, y a las salas blancas. Otro factor que puede contribuir al alto consumo eléctrico de este edificio es la existencia de un sistema de refrigeración complementario basado en una instalación central de distribución de fluido térmico para la reducción de temperatura y refrigeración de equipos de laboratorio como el microscopio Titán.

Todo el sistema de climatización se integra dentro de un sistema general de regulación y control. Sin embargo, desde este sistema no se establece un periodo de funcionamiento específico para el funcionamiento diario de los sistemas de climatización, permaneciendo varios equipos como las unidades de tratamiento de aire y los sistemas de extracción conectados durante todo el tiempo, incluso fuera de los periodos de uso de las instalaciones.

La potencia total demandada por el edificio se caracteriza por una elevada uniformidad durante todo el año, sin apreciarse importantes diferencias ni con periodos festivos ni entre diferentes estaciones climatológicas. Esto permite identificar ineficiencias en los sistemas de regulación y control del sistema de climatización.

En la auditoría también se hace referencia al elevado porcentaje de la demanda de potencia en stand-by, representando hasta un 80% de la demanda de potencia total en este edificio.

Se va a mostrar en la figura 1 la distribución del consumo energético total del edificio según sus principales usos energéticos incluida en el documento de la auditoría.

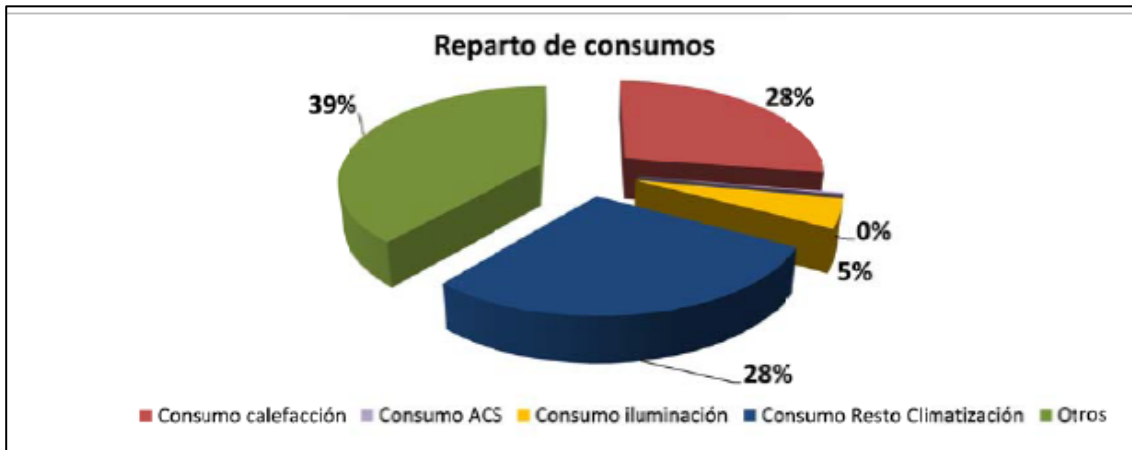


Figura V.1. Distribución del consumo de energía por usos del Edificio I+D. Fuente: Auditoría Edificio I+D (Fundación Circe) [28]

El 28% del consumo total corresponde al sistema de calefacción, ya que el consumo para la producción de ACS es mínimo. El resto del sistema de climatización está formado por la generación de frío, el sistema de bombeo para distribución y los motores de los equipos de tratamiento de aire, extractores y climatizadores, representando un 28%. Por lo tanto, todo el sistema de climatización engloba un 56% del consumo total energético del edificio. Un 39% del consumo total corresponde al uso de los equipos específicos de cada laboratorio y el sistema de iluminación solo significa un 5%, cuando normalmente, es uno de los usos más significativos en edificios de oficinas.

Se han estudiado acciones para reducir el consumo energético como la recuperación de calor, pero aún no se ha implantado. La opción de free-cooling si que se ha implantado en el CPD del BIFI (Instituto de Investigación de Biocomputación y Física de Sistemas Complejos), como se menciona en el TFG 'Modelización y simulación de la climatización del centro de datos del BIFI' [59]. Este método solo puede llevarse a cabo en invierno, ya que se aprovechan las bajas temperaturas del aire exterior. Se usan dos ventiladores situados en la entrada del CPD para impulsar el aire, a través de dos conductos, al interior de la sala.

Anexo VI: Superficie útil de los edificios de La Universidad de Zaragoza

En la tabla 1 se muestran los datos de superficie útil de cada edificio universitario estudiado y la proporción de estos y de los campus donde están situados.

EDIFICIOS Y CAMPUS	S. ÚTIL (m2)	PORCENTAJE
ADA BYRON	13.447	6,6%
TORRES QUEVEDO	27.594	13,6%
EDIFICIO I + D	11.913	5,9%
BETANCOURT	25.818	12,7%
LORENZO NORMANTE	7.824	3,9%
CAMPUS RÍO EBRO	86.596	42,6%
BELLAS ARTES	5.733	2,8%
CE TERUEL	4.466	2,2%
PABLO SERRANO	5.738	2,8%
CAMPUS TERUEL	15.937	7,8%
FACULTAD VETERINARIA	5.104	2,5%
HOSPITAL VETERINARIA	6.779	3,3%
CAMPUS VETERINARIA	11.883	5,8%
FACULTAD CIENCIAS (FÍSICAS-QUÍMICAS)	30.383	15,0%
FACULTAD CIENCIAS DE LA SALUD	3.916	1,9%
FACULTAD MEDICINA	7.263	3,6%
INTERFACULTADES	9.874	4,9%
PARANINFO y FACULTAD ECONOMÍA Y EMPRESA	12.931	6,4%
FACULTAD CIENCIAS (MATEMÁTICAS-GEOLÓGICAS)	16.834	8,3%
FACULTAD DERECHO	7.558	3,7%
CAMPUS SAN FRANCISCO	88.759	43,7%
TOTAL	203.175	100%

Tabla VI.1. Superficie útil de los edificios Unizar estudiados. Fuente: [29]

Entre los campus universitarios estudiados se puede ver como los edificios del campus Río Ebro suponen alrededor de un 43% de la superficie útil total, especialmente, por el gran espacio ocupado por el Torres Quevedo y Betancourt. El campus San Francisco engloba un porcentaje similar al del campus Río Ebro (54%), con las Facultades de Ciencias y Derecho o el Paraninfo. Los campus de Veterinaria y de Teruel están formados por edificios con una superficie útil menor.

Anexo VII: Coeficientes de paso a energía primaria y factores de emisión de CO₂

Los coeficientes de paso son factores de conversión que permiten calcular, a partir de la cantidad de energía final consumida en un edificio, la cantidad equivalente de: energía primaria renovable, energía primaria no renovable, energía primaria total y emisiones de CO₂.

Estos factores se determinan para combustibles no renovables, como electricidad, gasóleo, GLP, gas natural, o renovables, como es el caso de la biomasa. Otro factor influyente que se tiene en cuenta es la zona geográfica para la electricidad, diferenciando entre peninsular o extra-peninsular.

En el apartado 2 de la IT 1.2.2 aparece estipulado que “los coeficientes de paso de la producción de emisiones de CO₂ y de consumo de energía primaria que se utilicen serán publicados como documento reconocido, en el registro general de documentos reconocidos del RITE, en la sede electrónica del Ministerio de Industria, Energía y Turismo” [32].

En las tablas 1 y 2 se muestran los valores aprobados para cada fuente de energía y los factores de emisiones de CO₂.

Factores de conversión de energía final a primaria					
	Fuente	Valores aprobados			Valores previos (****)
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final	kWh E.primaria /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368	2,61
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,075	2,937	3,011	3,35
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,082	2,968	3,049	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,070	2,924	2,994	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,072	2,718	2,790	
Gasóleo calefacción	(***)	0,003	1,179	1,182	1,08
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204	1,08
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195	1,01
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084	1,00
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037	
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113	

(*) Valor obtenido de la Propuesta de Documento Reconocido: **Valores aprobados en Comisión Permanente de Certificación Energética de Edificios de 27 de Junio de 2013, actualizado al periodo considerado.**

(**) Según cálculo del apartado 5 de este documento.

(***) Basado en el informe “Well to tank Report, versión 4.0” del Joint Research Institute.

(****) Valores utilizados, a fecha de redacción del informe, en CALENER, CE3 y CEX según Documento reconocido "Escala de calificación energética para edificios existentes"

Tabla VII.1. Factores de conversión de energía final (energía eléctrica y gas natural) a energía primaria.
Fuente: [32]

El consumo de energía primaria asociado al consumo de energía final eléctrica se ha calculado mediante la siguiente fórmula:

*Consumo energía primaria (kWh) = Consumo energía eléctrica (kWh) * factor de conversión*

El coeficiente de paso que se ha utilizado para la conversión de energía eléctrica final a energía primaria es **2,368**. Para el cálculo de la energía primaria de origen renovable a partir de la energía eléctrica se ha usado un factor de conversión de **0,414**. Estos dos factores de conversión se han seleccionado teniendo en cuenta que la electricidad convencional es peninsular.

El consumo de energía primaria asociado al consumo de gas natural se ha calculado mediante la siguiente fórmula:

*Consumo energía primaria (kWh) = Consumo gas natural (kWh) * factor de conversión*

El coeficiente de paso utilizado para la conversión de gas natural a energía primaria ha sido **1,195**.

El factor de emisión de CO₂ sirve para calcular la cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmósfera conociendo el valor de la energía final consumida.

Factores de emisiones de CO ₂			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO ₂ /kWh E. final	kg CO ₂ /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(***)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(***)	0,018	neutro

(*) Valor obtenido de la Propuesta de Documento Reconocido: **Valores aprobados en Comisión Permanente de Certificación Energética de Edificios de 27 de Junio de 2013, actualizado al periodo considerado.**

(**) Según cálculo del apartado 5 de este documento.

(***) Basado en el informe "Well to tank Report, versión 4.0" del Joint Research Intitute.

(****) Valores utilizados, a fecha de redacción del informe, en CALENER, CE3 y CEX según Documento reconocido "Escala de calificación energética para edificios existentes"

Tabla VII.2. Factores de conversión de energía final emisiones de CO₂. Fuente: [32]

Para calcular las emisiones de dióxido de carbono debido al consumo de electricidad se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{)} = \text{consumo energía eléctrica (kWh)} * \text{factor conversión CO}_2$$

El coeficiente de paso usado para la conversión de consumo de energía final eléctrica a kg de CO₂ ha sido **0,385** para 2015, a partir del 2016 se ha utilizado **0,331** (electricidad convencional peninsular).

Para calcular las emisiones de dióxido de carbono debido al consumo de gas natural se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{)} = \text{consumo gas natural (kWh)} * \text{factor conversión CO}_2$$

El coeficiente de paso usado para la conversión de consumo de gas natural a kg de CO₂ ha sido **0,204** para 2015, a partir del 2016 se ha utilizado **0,252**.

Anexo VIII: Análisis del consumo de energía en los edificios de La Universidad de Zaragoza

En este anexo se recopila toda la información, en forma de tablas y gráficos, utilizada para la obtención de los resultados relativos al consumo energético de los edificios universitarios expuestos en la memoria.

Consumo eléctrico

Primero se va a mostrar la distribución del consumo eléctrico mensual en los distintos campus universitarios que componen La Universidad de Zaragoza (campus Río Ebro, campus San Francisco, campus de Veterinaria, campus de Teruel) durante los años 2015-2018.

- CAMPUS RÍO EBRO

	CAMPUS RÍO EBRO			
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	961.836	934.239	1.074.553	1.038.416
FEBRERO	1.028.833	1.023.244	952.446	1.089.590
MARZO	786.171	910.413	841.197	926.481
ABRIL	644.428	804.436	678.590	731.629
MAYO	774.137	742.235	894.487	745.023
JUNIO	893.972	882.855	974.404	856.077
JULIO	707.433	686.401	792.278	811.997
AGOSTO	581.154	619.586	623.176	613.981
SEPTIEMBRE	703.464	821.334	722.973	862.719
OCTUBRE	707.651	707.432	708.794	732.913
NOVIEMBRE	873.967	938.874	1.012.739	923.718
DICIEMBRE	796.309	882.049	938.868	932.168
TOTAL	9.459.355	9.953.098	10.214.505	10.264.712

Tabla VIII.1. Consumo de energía eléctrica mensual del campus Río Ebro en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

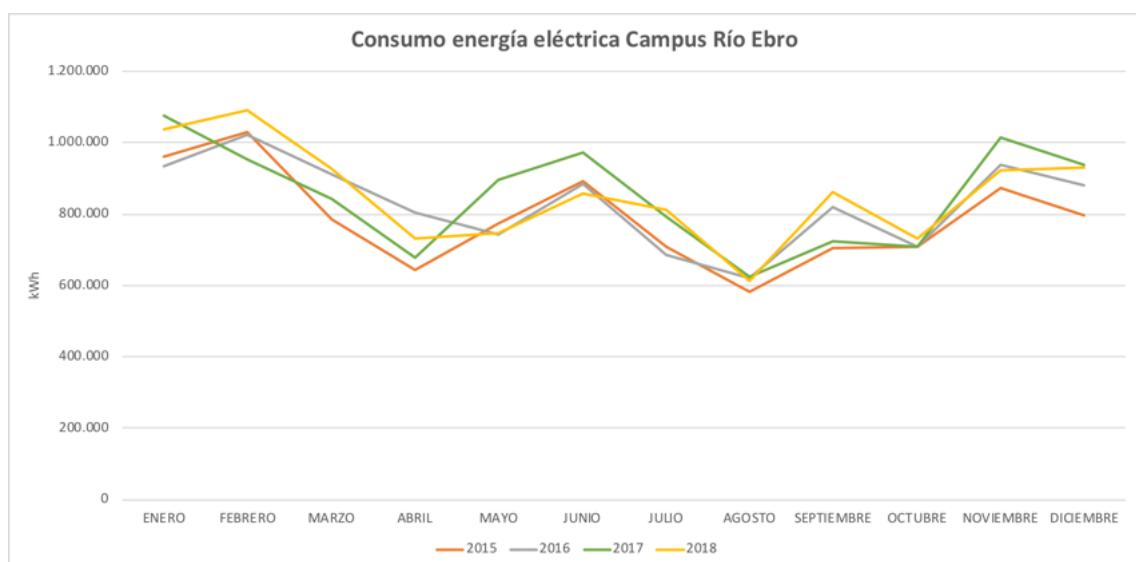


Figura VIII.1. Evolución de consumo de energía eléctrica mensual del campus Río Ebro en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

Se ve como durante los cuatro años analizados la evolución del consumo eléctrico sigue la misma tendencia, pero cabe destacar que el pico más alto de consumo corresponde a febrero de 2018 (1.089.590 kWh), coincidiendo con que en este mes se tiene la temperatura media más baja de los cuatro años (6,8°C). En mayo y junio de 2017 se produce un aumento del consumo, esto está relacionado con las altas temperaturas que se tuvieron en estos meses.

En las tablas 2 y 3 se muestra el consumo eléctrico distribuido en los edificios que componen el campus Río Ebro (Edificio I+D, Betancourt, Torres Quevedo, Ada Byron y Lorenzo Normante).

Mes	Edificio I+D				Edificio Betancourt			
	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	374.331	376.843	410.752	425.679	249.733	228.445	290.479	262.024
FEBRERO	387.835	391.300	425.232	446.637	267.634	238.307	210.583	256.502
MARZO	362.792	402.141	407.063	433.798	163.336	190.662	171.360	193.040
ABRIL	343.723	389.748	373.202	397.201	111.783	157.472	114.612	129.797
MAYO	388.160	395.970	459.168	411.069	151.855	134.164	190.807	132.797
JUNIO	403.712	416.786	451.754	438.474	216.417	209.538	241.666	182.649
JULIO	377.252	379.020	447.437	452.264	135.429	133.116	152.186	160.327
AGOSTO	359.536	379.479	395.983	388.900	93.372	110.830	100.048	105.195
SEPTIEMBRE	369.752	415.225	404.446	426.764	135.210	174.824	134.174	213.203
OCTUBRE	377.373	394.952	405.422	418.369	122.622	122.766	117.934	122.696
NOVIEMBRE	363.719	404.885	439.184	402.421	187.463	209.033	226.058	207.435
DICIEMBRE	351.323	402.348	433.981	428.945	164.514	189.338	199.880	202.281
TOTAL	4.459.508	4.748.697	5.053.624	5.070.521	1.999.368	2.098.495	2.149.787	2.167.946

Tabla VIII.2. Consumo de energía eléctrica mensual del Edificio I+D y Betancourt en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

	Torres Quevedo-Ada Byron				Lorenzo Normante			
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	260.744	235.479	277.698	263.443	77.028	93.472	95.624	87.270
FEBRERO	278.156	280.657	242.258	285.031	95.208	112.980	74.373	101.420
MARZO	205.348	233.167	208.361	228.884	54.695	84.443	54.413	70.759
ABRIL	164.115	206.308	158.995	167.890	24.807	50.908	31.781	36.741
MAYO	198.086	178.075	198.697	174.787	36.036	34.026	45.815	26.370
JUNIO	207.986	201.583	210.605	183.594	65.857	54.948	70.379	51.360
JULIO	150.390	136.303	151.385	153.806	44.362	37.962	41.270	45.600
AGOSTO	104.832	105.652	106.317	97.605	23.414	23.625	20.828	22.281
SEPTIEMBRE	163.144	180.503	154.496	174.328	35.358	50.782	29.857	48.424
OCTUBRE	169.589	160.655	159.650	162.842	38.067	29.059	25.788	29.006
NOVIEMBRE	245.932	257.848	265.565	242.530	76.853	67.108	81.932	71.332
DICIEMBRE	211.474	223.129	232.712	229.222	68.998	67.234	72.295	71.720
TOTAL	2.359.796	2.399.359	2.366.739	2.363.962	640.683	706.547	644.355	662.283

Tabla VIII.3. Consumo de energía eléctrica mensual del Torres Quevedo, Ada Byron y Lorenzo Normante en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

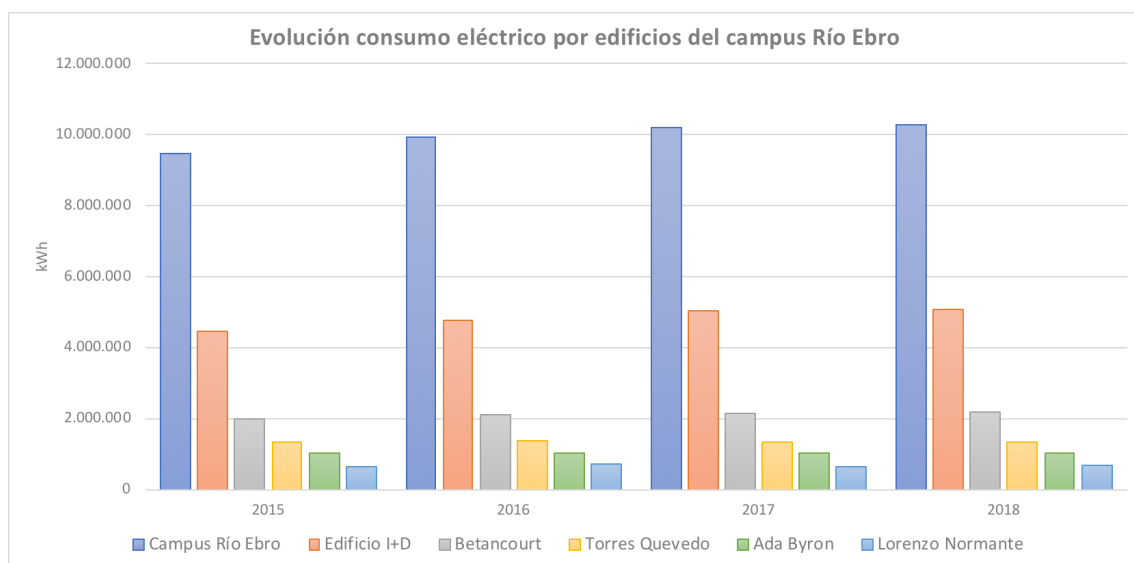


Figura VIII.2. Distribución consumo de energía eléctrica de los edificios del campus Río Ebro en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

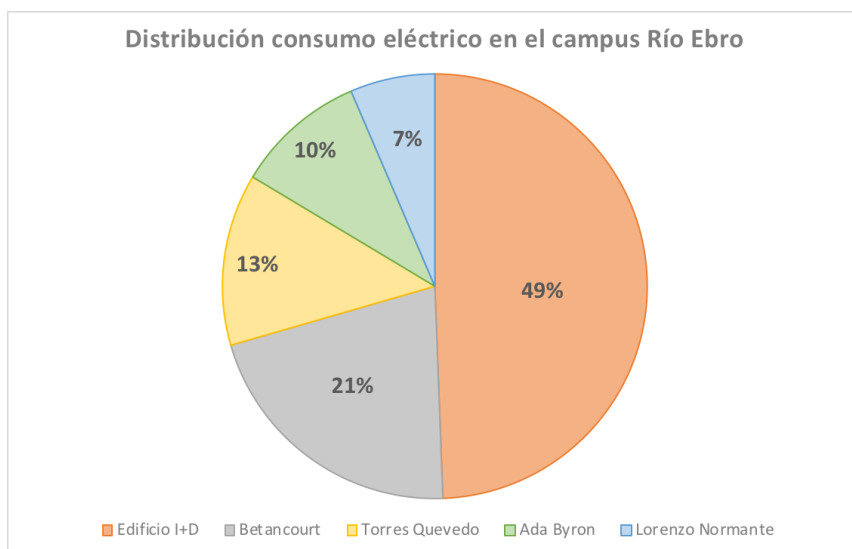


Figura VIII.3. Distribución del consumo de energía eléctrica por porcentaje de los edificios del campus Río Ebro en 2018. Fuente: elaboración propia

Se ve claramente que en el Edificio I+D se consume la mitad de toda la energía eléctrica del campus Río Ebro. Como ya se ha mencionado en la memoria, hay varias razones que

fundamentan este alto consumo. Por un lado, en este edificio se llevan a cabo actividades de investigación y laboratorio donde se emplea material específico y equipos informáticos, además de tener un horario de operación más amplio que los edificios académicos.

- CAMPUS SAN FRANCISCO

CAMPUS SAN FRANCISCO-PARANINFO				
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	950.432	811.325	992.458	963.529
FEBRERO	1.031.563	879.599	912.897	1.047.638
MARZO	877.961	805.372	821.729	881.711
ABRIL	737.825	779.533	622.079	753.661
MAYO	889.687	770.468	910.214	841.860
JUNIO	1.083.935	953.778	1.139.682	956.464
JULIO	957.913	806.456	891.960	911.917
AGOSTO	555.666	590.227	585.265	546.423
SEPTIEMBRE	786.991	938.181	748.284	923.189
OCTUBRE	757.823	778.136	741.329	785.136
NOVIEMBRE	857.561	945.434	986.435	936.314
DICIEMBRE	747.491	830.062	874.800	908.310
TOTAL	10.234.848	9.888.571	10.227.132	10.456.152

Tabla VIII.4. Consumo de energía eléctrica mensual del Campus San Francisco en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

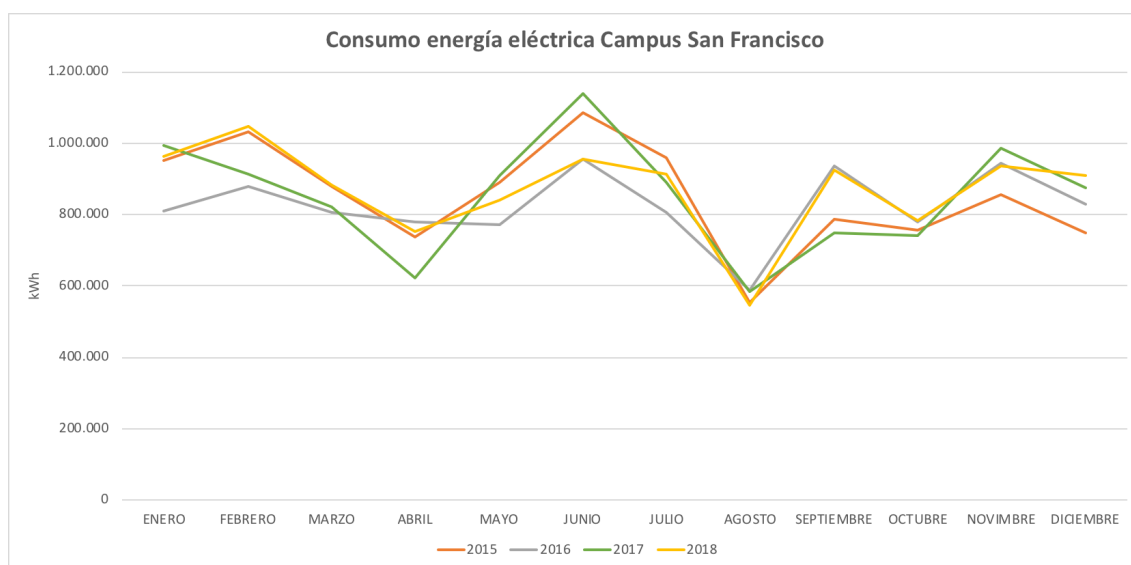


Figura VIII.4. Evolución de consumo de energía eléctrica mensual del campus San Francisco en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

En el campus San Francisco el pico más alto de consumo de energía tiene lugar en junio de 2017 (1.139.682 kWh), ya que este es un mes donde la temperatura media superó los 25°C y la actividad laboral y estudiantil es superior al resto de meses del verano. También destaca el poco consumo en abril de 2017 en comparación con el resto de años, con casi 200.000 kWh de diferencia. Esto está relacionado con que la temperatura media fue superior a 15°C, por lo tanto el consumo debido al uso de las instalaciones de climatización en modo calefacción fue inferior al resto de años.

Los edificios estudiados que forman parte del campus San Francisco son los siguientes:

Facultad de Ciencias (físicas-químicas), Paraninfo, Facultad de Derecho, Mates-Geológicas, Facultad de Medicina, Interfacultades y Facultad de Ciencias de la Salud.

	CIENCIAS				PARANINFO			
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	259.431	232.288	239.517	239.315	136.713	126.025	148.592	153.654
FEBRERO	285.213	255.784	249.685	275.357	149.048	131.433	138.080	157.481
MARZO	259.104	242.821	244.200	251.390	131.415	123.739	119.982	127.051
ABRIL	239.948	250.728	194.872	228.224	91.169	119.158	81.805	95.925
MAYO	288.806	260.988	261.246	256.004	137.018	119.017	161.240	117.052
JUNIO	334.766	292.435	295.999	281.161	190.374	182.671	210.079	187.188
JULIO	340.354	295.087	278.151	283.614	176.179	146.725	160.150	166.194
AGOSTO	189.053	209.119	174.356	170.561	67.492	100.369	106.089	89.138
SEPTIEMBRE	247.649	272.795	233.105	255.475	129.931	181.496	137.046	177.888
OCTUBRE	250.189	241.997	233.888	241.841	97.546	135.405	103.351	131.156
NOVIEMBRE	266.113	252.201	268.260	247.863	123.299	141.335	149.605	138.378
DICIEMBRE	228.221	224.155	232.185	223.624	112.828	127.181	134.186	131.980
TOTAL	3.188.847	3.030.398	2.905.464	2.954.429	1.543.012	1.634.554	1.650.205	1.673.085

Tabla VIII.5. Consumo de energía eléctrica mensual de la Facultad de Ciencias y Paraninfo en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

	FACULTAD DERECHO				MATES-GEOLÓGICAS			
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	201.868	142.326	239.272	238.129	162.173	133.228	166.799	157.834
FEBRERO	224.622	155.641	200.466	259.801	176.880	145.351	156.913	161.052
MARZO	171.078	141.270	167.222	191.289	154.416	133.663	145.172	147.176
ABRIL	126.474	114.786	113.775	159.117	140.557	138.131	120.799	134.708
MAYO	156.635	98.673	177.963	184.368	150.740	140.215	163.229	139.923
JUNIO	192.675	123.024	236.915	177.325	164.105	166.784	194.893	160.275
JULIO	146.293	86.375	155.166	150.220	140.574	137.695	161.383	166.670
AGOSTO	85.045	63.473	106.344	79.764	109.525	113.970	125.232	114.166
SEPTIEMBRE	138.399	157.505	147.118	156.994	130.899	164.326	146.542	165.381
OCTUBRE	135.969	138.632	140.916	143.227	129.847	135.830	143.015	146.222
NOVIEMBRE	142.148	220.515	226.649	224.874	140.563	158.154	161.182	159.811
DICIEMBRE	122.461	190.458	199.411	234.419	127.730	142.577	152.494	155.848
TOTAL	1.843.667	1.632.678	2.111.217	2.199.527	1.728.009	1.709.924	1.837.653	1.809.066

Tabla VIII.6. Consumo de energía eléctrica mensual de la Facultad de Derecho y Mates-Geológicas en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

	MEDICINA				INTERFACULTADES			
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	114.748	106.790	127.150	111.185	53.974	51.585	38.836	40.785
FEBRERO	109.146	110.151	106.993	121.752	61.296	59.444	33.452	46.068
MARZO	93.438	95.275	96.549	104.313	51.226	49.212	30.523	40.107
ABRIL	79.898	90.325	72.085	86.415	46.027	48.547	25.600	33.478
MAYO	87.440	89.302	100.029	90.279	54.533	48.101	30.853	38.593
JUNIO	124.587	121.897	141.415	95.132	59.783	51.032	37.217	37.845
JULIO	88.264	81.287	92.834	84.426	49.648	45.706	30.002	40.755
AGOSTO	59.446	61.791	43.039	61.385	36.426	32.777	19.056	22.617
SEPTIEMBRE	80.516	99.062	48.255	110.130	48.337	48.345	23.562	42.051
OCTUBRE	83.113	78.545	80.713	82.448	48.428	34.794	25.962	26.508
NOVIEMBRE	107.424	115.239	119.217	109.163	58.831	37.891	40.409	33.167
DICIEMBRE	91.420	95.770	103.150	101.296	48.370	33.080	35.619	34.002
TOTAL	1.119.440	1.145.434	1.131.429	1.157.924	616.879	540.514	371.091	435.976

Tabla VIII.7. Consumo de energía eléctrica mensual de la Facultad de Medicina e Interfacultades en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

	CIENCIAS DE LA SALUD			
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	21.525	19.083	32.292	22.627
FEBRERO	25.358	21.795	27.308	26.127
MARZO	17.284	19.392	18.081	20.385
ABRIL	13.752	17.858	13.143	15.794
MAYO	14.515	14.172	15.654	15.641
JUNIO	17.645	15.935	23.164	17.538
JULIO	16.601	13.581	14.274	20.038
AGOSTO	8.679	8.728	11.149	8.792
SEPTIEMBRE	11.260	14.652	12.656	15.270
OCTUBRE	12.731	12.933	13.484	13.734
NOVIEMBRE	19.183	20.099	21.113	23.058
DICIEMBRE	16.461	16.841	17.755	27.141
TOTAL	194.994	195.069	220.073	226.145

Tabla VIII.8. Consumo de energía eléctrica mensual de la Facultad de Ciencias de la Salud en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

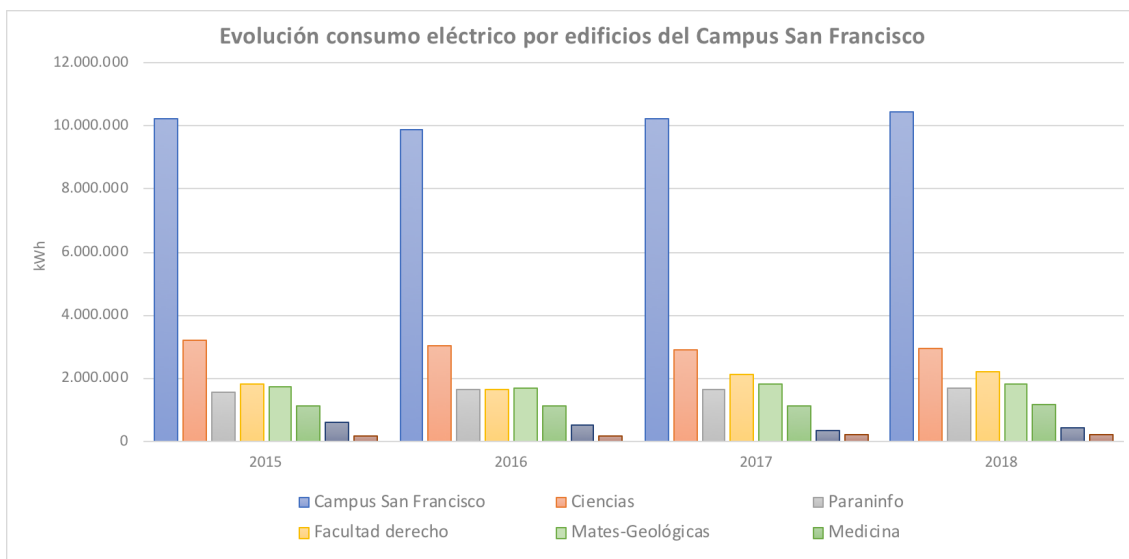


Figura VIII.5. Distribución consumo de energía eléctrica de los edificios del campus San Francisco en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

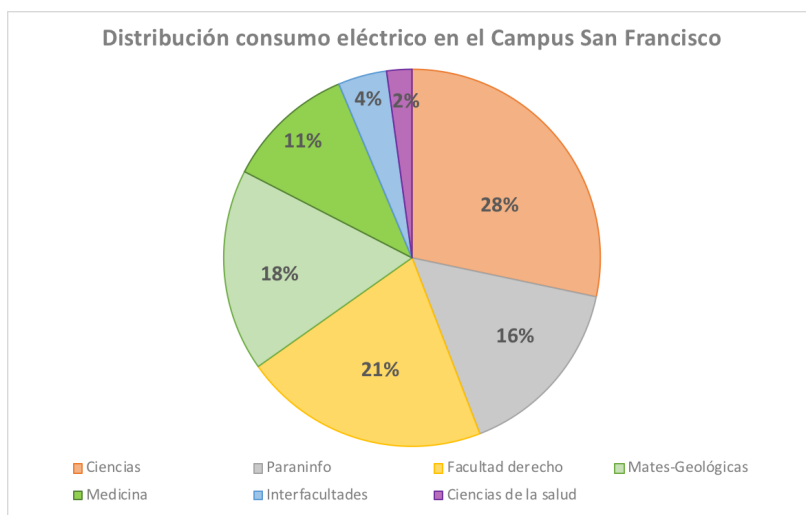


Figura VIII.6. Distribución del consumo de energía eléctrica por porcentaje de los edificios del campus San Francisco en 2018. Fuente: elaboración propia

En el campus San Francisco el consumo de energía se distribuye de manera más uniforme. La Facultad de Ciencias y de Derecho son los edificios que más contribuyen al consumo de energía de este campus, aglutinando entre los dos cerca de un 50%.

- CAMPUS VETERINARIA

	CAMPUS VETERINARIA			
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	243.611	225.777	253.109	242.952
FEBRERO	254.561	228.391	230.171	265.345
MARZO	217.057	220.234	211.171	239.486
ABRIL	198.221	201.897	178.238	199.303
MAYO	224.153	200.482	232.624	202.048
JUNIO	261.297	257.621	282.546	241.262
JULIO	256.311	235.797	262.171	268.724
AGOSTO	219.710	223.913	214.017	226.635
SEPTIEMBRE	217.363	243.182	204.074	238.391
OCTUBRE	191.587	211.718	193.961	201.281
NOVIEMBRE	223.668	228.951	248.903	224.159
DICIEMBRE	215.368	219.118	235.668	245.926
TOTAL	2.722.907	2.697.081	2.746.653	2.795.512

Tabla VIII.9. Consumo de energía eléctrica mensual del Campus San Francisco en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

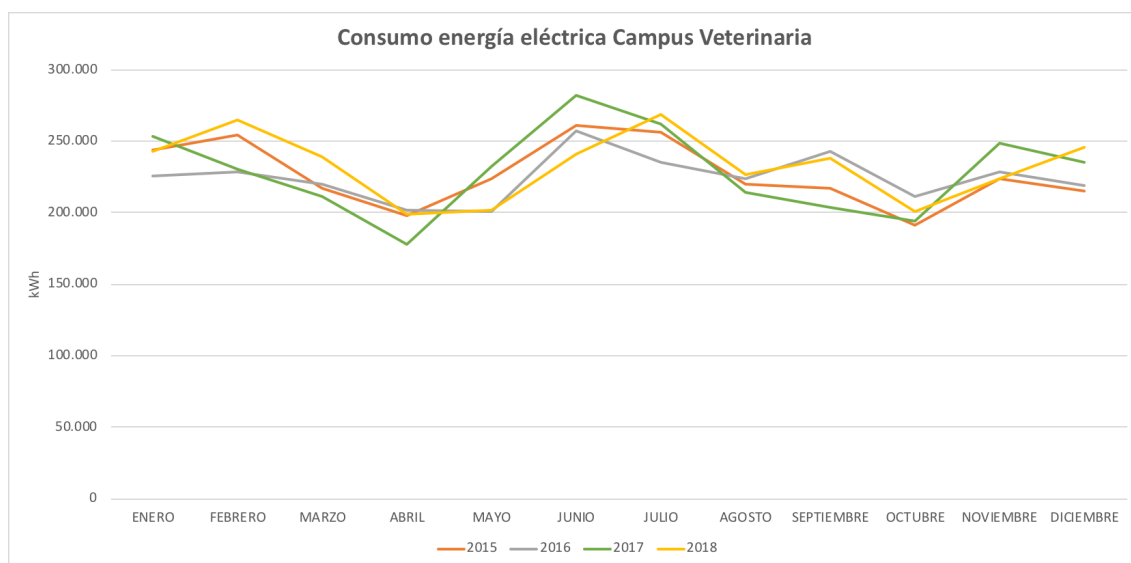


Figura VIII.7. Evolución de consumo de energía eléctrica mensual del Campus de Veterinaria en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

En el campus de Veterinaria, al igual que en el campus San Francisco, el pico de consumo de energía se encuentra en junio de 2017, superando los 280.000 kWh.

Los edificios analizados que forman parte del campus de Veterinaria han sido: Hospital de Veterinaria y la Facultad de Veterinaria.

	HOSPITAL VETERINARIA				FACULTAD VETERINARIA			
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	136.244	126.779	135.058	133.061	107.367	98.998	118.051	109.891
FEBRERO	134.280	117.486	121.425	145.272	120.281	110.905	108.746	120.073
MARZO	115.792	116.914	109.739	132.770	101.265	103.320	101.432	106.716
ABRIL	106.840	106.686	96.572	110.301	91.381	95.211	81.666	89.002
MAYO	117.893	104.019	121.393	106.272	106.260	96.463	111.231	95.776
JUNIO	135.179	141.024	151.177	138.301	126.118	116.597	131.369	102.961
JULIO	147.906	143.548	151.069	164.351	108.405	92.249	111.102	104.373
AGOSTO	136.840	142.457	136.866	152.209	82.870	81.456	77.151	74.426
SEPTIEMBRE	104.805	127.931	113.048	134.809	112.558	115.251	91.026	103.582
OCTUBRE	101.949	117.525	103.903	107.202	89.638	94.193	90.058	94.079
NOVIEMBRE	116.738	118.698	134.943	118.101	106.930	110.253	113.960	106.058
DICIEMBRE	123.645	122.431	133.349	140.556	91.723	96.687	102.319	105.370
TOTAL	1.478.111	1.485.498	1.508.542	1.583.205	1.244.796	1.211.583	1.238.111	1.212.307

Tabla VIII.10. Consumo de energía eléctrica mensual del Hospital de Veterinaria y Facultad de Veterinaria en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

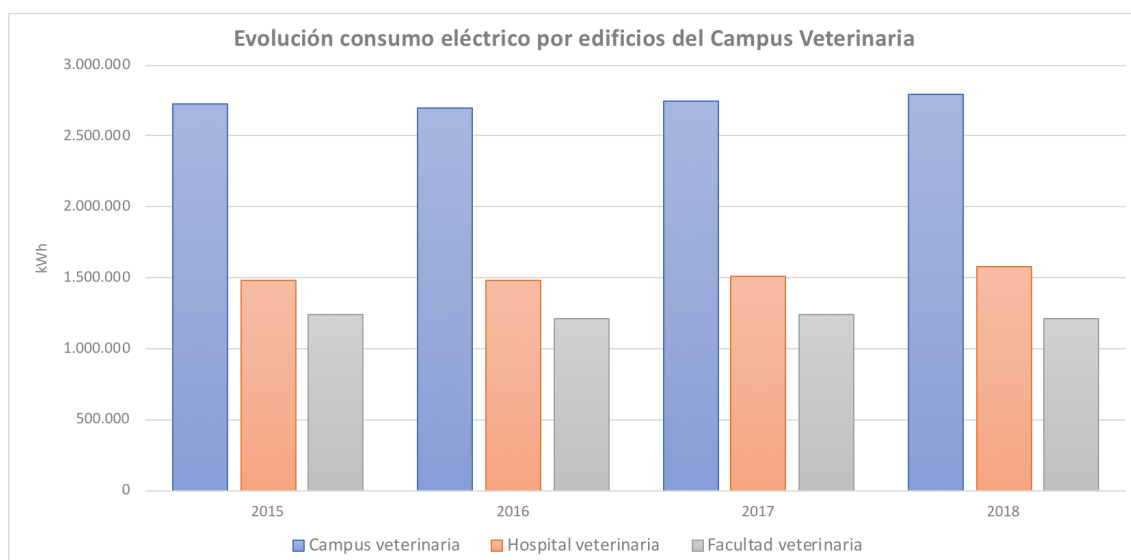


Figura VIII.8. Distribución consumo de energía eléctrica de los edificios del campus de Veterinaria en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

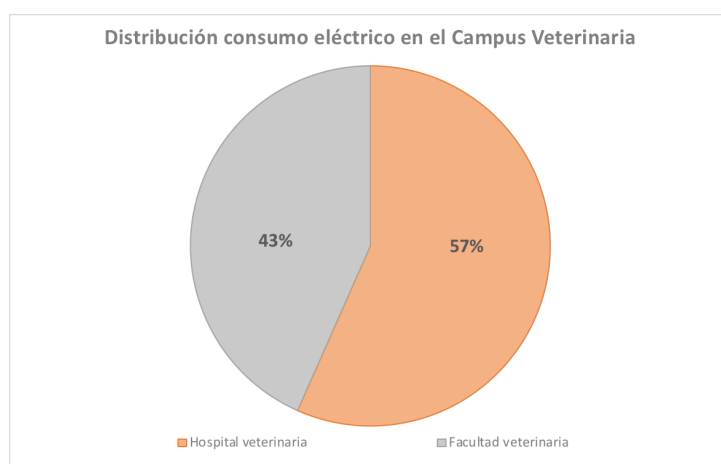


Figura VIII.9. Distribución del consumo de energía eléctrica por porcentaje de los edificios del campus de Veterinaria en 2018. Fuente: elaboración propia

En este campus universitario se han estudiado dos edificios: el Hospital de Veterinaria que engloba un 57% del consumo total y la Facultad de Veterinaria que consume el resto de energía.

- CAMPUS DE TERUEL

	CAMPUS TERUEL			
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	92.892	86.689	99.174	91.777
FEBRERO	92.213	87.516	89.747	101.303
MARZO	82.277	82.318	82.589	87.019
ABRIL	71.017	80.883	59.842	64.932
MAYO	68.515	77.269	72.155	72.207
JUNIO	73.665	75.625	78.803	69.532
JULIO	63.504	59.808	61.554	61.023
AGOSTO	53.192	52.909	44.515	48.507
SEPTIEMBRE	64.695	67.145	58.849	57.064
OCTUBRE	78.892	74.968	78.892	74.968
NOVIEMBRE	89.595	90.337	70.895	76.489
DICIEMBRE	75.110	78.809	84.113	77.125
TOTAL	905.567	914.276	881.128	881.946

Tabla VIII.11. Consumo de energía eléctrica mensual del Campus de Teruel en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

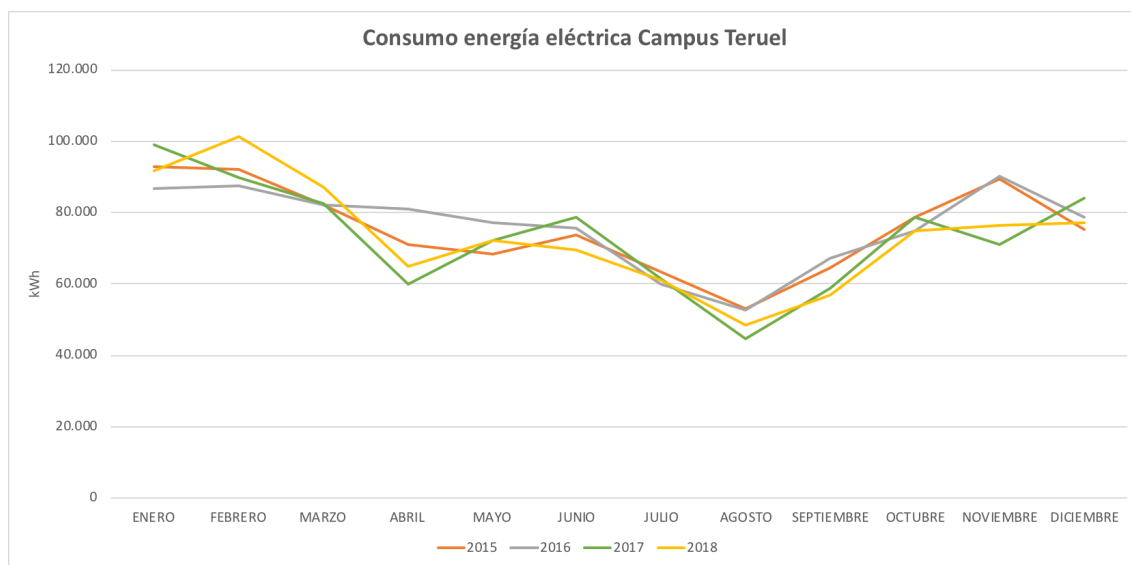


Figura VIII.10. Evolución de consumo de energía eléctrica mensual del Campus de Teruel en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

En el campus universitario de Teruel el mayor consumo de energía eléctrica se registró en febrero de 2018 superando los 100.000 kWh, esto está relacionado con el alto uso de la calefacción para contrarrestar la baja temperatura media en este mes (6,8°C).

En el campus de Teruel se han analizado los siguientes edificios: Centro de Estudios de Teruel, Pablo Serrano y Bellas Artes.

	CE TERUEL				PABLO SERRANO			
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	37.969	36.782	37.797	35.731	42.616	40.666	48.101	43.279
FEBRERO	38.681	38.430	36.126	39.952	43.498	41.296	42.456	46.593
MARZO	35.097	34.494	35.019	35.146	37.689	37.586	38.285	40.781
ABRIL	31.301	34.951	25.630	27.451	32.596	37.674	27.417	30.037
MAYO	33.424	34.451	32.225	32.004	30.604	35.216	32.384	31.960
JUNIO	31.872	31.961	31.228	27.713	35.555	36.435	40.618	35.109
JULIO	29.890	27.060	26.570	25.132	26.798	27.014	29.156	29.912
AGOSTO	22.046	21.924	19.258	16.898	27.306	26.073	20.885	27.467
SEPTIEMBRE	32.358	32.982	28.677	24.986	26.451	27.581	24.287	26.033
OCTUBRE	36.203	33.897	36.203	33.897	34.785	33.380	34.785	33.380
NOVIEMBRE	39.914	38.994	33.025	34.712	39.801	40.994	29.699	33.465
DICIEMBRE	33.039	32.942	34.821	33.159	33.641	36.547	37.974	39.642
TOTAL	401.794	398.868	376.579	366.781	411.340	420.462	406.047	417.658

Tabla VIII.12. Consumo de energía eléctrica mensual del Centro de Estudios de Teruel y Pablo Serrano en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

	BELLAS ARTES			
Mes	Consumo 2015 (kWh)	Consumo 2016 (kWh)	Consumo 2017 (kWh)	Consumo 2018 (kWh)
ENERO	12.307	9.241	13.276	12.767
FEBRERO	10.034	7.790	11.165	14.758
MARZO	9.491	10.238	9.285	11.092
ABRIL	7.120	8.258	6.795	7.444
MAYO	4.487	7.602	7.546	8.243
JUNIO	6.238	7.229	6.957	6.710
JULIO	6.816	5.734	5.828	5.979
AGOSTO	3.840	4.912	4.372	4.142
SEPTIEMBRE	5.886	6.582	5.885	6.045
OCTUBRE	7.904	7.691	7.904	7.691
NOVIEMBRE	9.880	10.349	8.171	8.312
DICIEMBRE	8.430	9.320	11.318	4.324
TOTAL	92.433	94.946	98.502	97.507

Tabla VIII.13. Consumo de energía eléctrica mensual del Bellas Artes en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

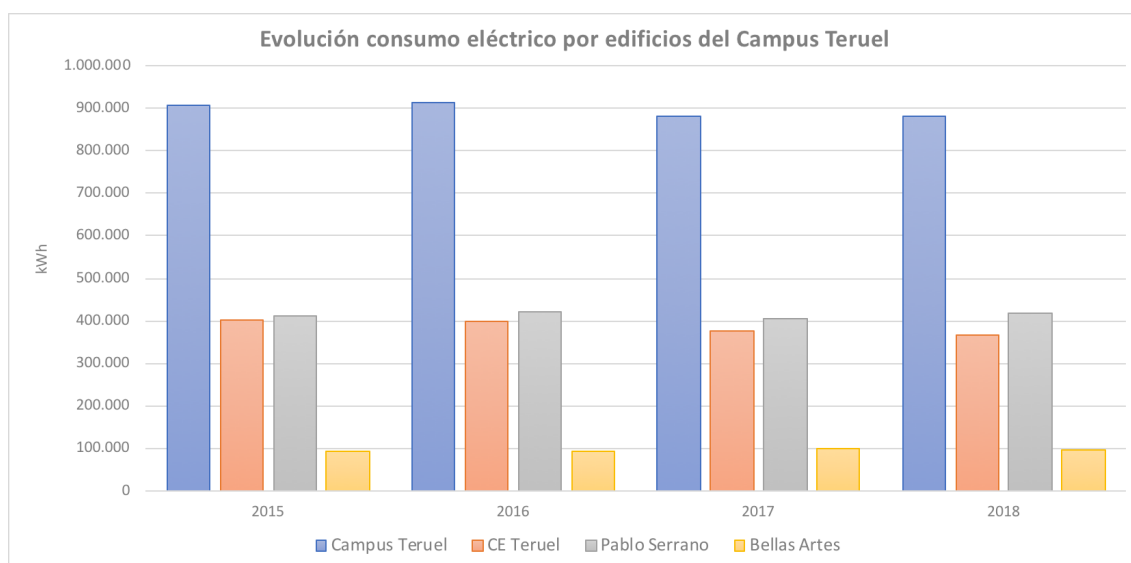


Figura VIII.11. Distribución consumo de energía eléctrica de los edificios del campus de Teruel en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

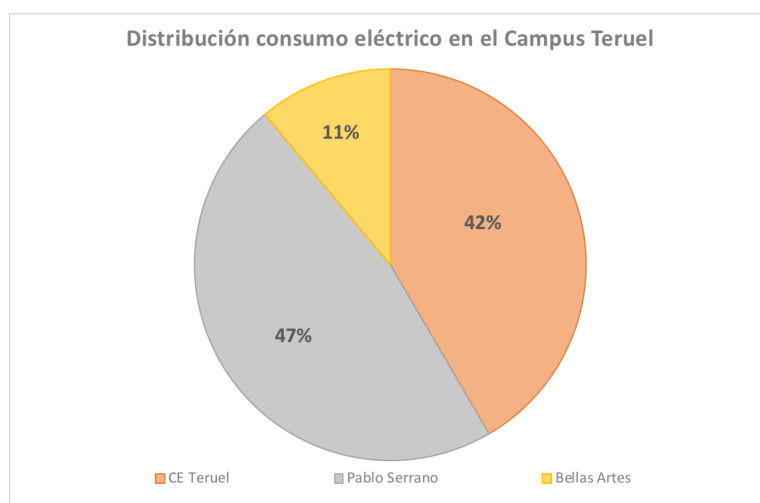


Figura VIII.12. Distribución del consumo de energía eléctrica por porcentaje de los edificios del campus de Teruel en 2018. Fuente: elaboración propia

En el campus universitario de Teruel entre los edificios Pablo Serrano y Centro de Estudios se engloba el 90% del consumo total. En el Bellas Artes se consume el resto de energía.

En los cuatro campus universitarios estudiados, el consumo de energía eléctrica se reparte de la siguiente manera:

	2015		2016		2017		2018	
CAMPUS	Consumo (kWh)	Porcentaje	Consumo (kWh)	Porcentaje	Consumo (kWh)	Porcentaje	Consumo (kWh)	Porcentaje
RÍO EBRO	9.459.355	40,6%	9.953.098	42,4%	10.214.505	42,4%	10.264.712	42,1%
TERUEL	905.567	3,9%	914.276	3,9%	881.128	3,7%	881.946	3,6%
VETERINARIA	2.722.907	11,7%	2.697.081	11,5%	2.746.653	11,4%	2.795.512	11,5%
SAN FRANCISCO	10.234.848	43,9%	9.888.571	42,2%	10.227.132	42,5%	10.456.152	42,9%
TOTAL	23.322.677	100%	23.453.026	100%	24.069.418	100%	24.398.322	100%

Tabla VIII.14. Consumo de energía eléctrica de los campus universitarios en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

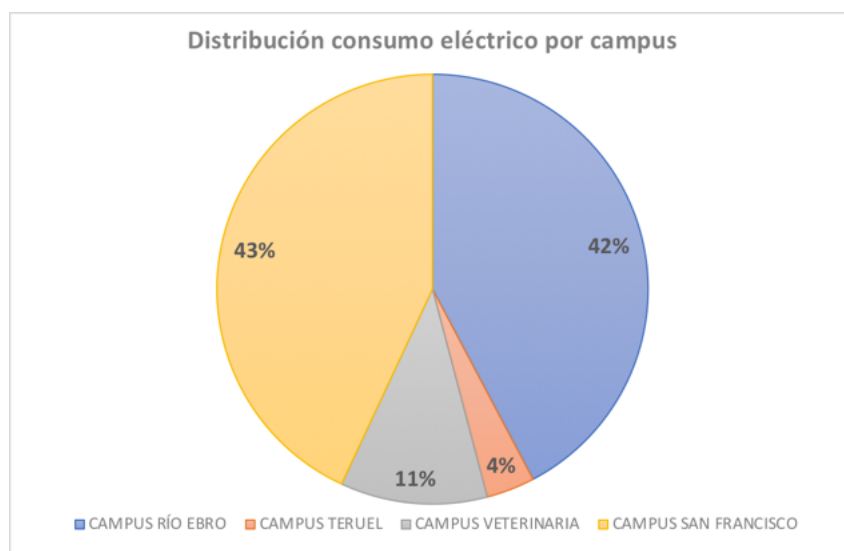


Figura VIII.13. Distribución del consumo de energía eléctrica por porcentaje de los campus universitarios en 2018. Fuente: elaboración propia

Se observa como el consumo energético en los campus Río Ebro y San Francisco supone el 85% del consumo total de los edificios estudiados de La Universidad de Zaragoza. En cada uno de estos dos campus se consume más de diez millones de kWh, mientras que en los campus de Teruel y Veterinaria se tiene el 15% del consumo restante. Esta diferencia se debe a que en el campus Río Ebro se encuentra el edificio de investigación I+D, que cuenta con el mayor consumo de energía entre los edificios estudiados, y el campus San Francisco está compuesto por edificios más grandes que requieren más consumo de energía para satisfacer las necesidades de sus ocupantes.

Consumo gas natural

En los cuatro campus universitarios estudiados, el consumo de gas natural durante 2015-2018 se ha distribuido de la siguiente manera:

Consumo (kWh)	2015		2016		2017		2018	
RÍO EBRO	2.886.024	23,4%	3.316.997	25,6%	3.345.590	25,0%	3.881.306	24,4%
TERUEL	1.218.523	9,9%	1.169.784	9,0%	1.269.477	9,5%	1.330.797	8,4%
VETERINARIA	1.888.590	15,3%	1.902.388	14,7%	1.860.477	13,9%	2.275.065	14,3%
SAN FRANCISCO	6.342.252	51,4%	6.543.603	50,6%	6.880.829	51,5%	8.415.448	52,9%
TOTAL	12.335.389	100%	12.932.772	100%	13.356.373	100%	15.902.616	100%

Tabla VIII.15. Consumo de gas natural de los campus universitarios en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

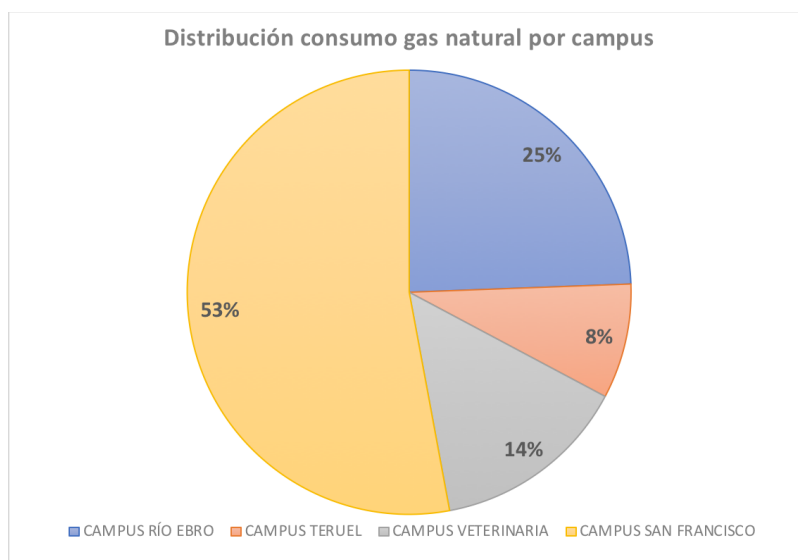


Figura VIII.14. Distribución promedio del consumo de gas natural de los campus universitarios en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

Más de la mitad del consumo total de gas natural de los edificios estudiados de La Universidad de Zaragoza se produce en el campus San Francisco, ya que cuenta con edificios con sistema de calefacción de caldera de gas. Los edificios del campus Río Ebro engloban un cuarto del consumo total, siendo el Torres Quevedo y el Edificio I+D los principales consumidores de gas natural.

Horario climatización

En este apartado se muestran los datos relativos al uso de las instalaciones de climatización en la Universidad de Zaragoza durante los años 2015-2018. En función de la época del año se utiliza el modo calefacción (invierno) o refrigeración (verano).

2015				2016			
HORAS	Clima	Calor	Frío	HORAS	Clima	Calor	Frío
ENERO	214,5	214,5	0	ENERO	214,5	214,5	0
FEBRERO	256,5	256,5	0	FEBRERO	218	218	0
MARZO	134,5	134,5	0	MARZO	195	195	0
ABRIL	14	14	0	ABRIL	93,5	93,5	0
MAYO	52,5	0	52,5	MAYO	17	7	10
JUNIO	187,5	0	187,5	JUNIO	159,4	0	159,4
JULIO	143,5	0	143,5	JULIO	104,5	0	104,5
AGOSTO	20	0	20	AGOSTO	43	0	43
SEPTIEMBRE	45,5	0	45,5	SEPTIEMBRE	90	0	90
OCTUBRE	25	25	0	OCTUBRE	0	0	0
NOVIEMBRE	134,5	144,5	0	NOVIEMBRE	196,5	196,5	0
DICIEMBRE	175,5	165,5	0	DICIEMBRE	181	181	0
TOTAL	1403,5	954,5	449	TOTAL	1512,4	1105,5	406,9

2017				2018			
HORAS	Clima	Calor	Frío	HORAS	Clima	Calor	Frío
ENERO	263	263	0	ENERO	236,5	236,5	0
FEBRERO	179,5	179,5	0	FEBRERO	269	269	0
MARZO	98,5	98,5	0	MARZO	190	190	0
ABRIL	43	43	0	ABRIL	73	73	0
MAYO	45	0	45	MAYO	15	0	15
JUNIO	203	0	203	JUNIO	128,5	0	128,5
JULIO	110,5	0	110,5	JULIO	93,5	0	93,5
AGOSTO	33	0	33	AGOSTO	33,5	0	33,5
SEPTIEMBRE	38,5	0	38,5	SEPTIEMBRE	102	0	102
OCTUBRE	3	3	0	OCTUBRE	30	30	0
NOVIEMBRE	136	136	0	NOVIEMBRE	149	149	0
DICIEMBRE	117,5	117,5	0	DICIEMBRE	138	138	0
TOTAL	1270,5	840,5	430	TOTAL	1458	1085,5	372,5

Tabla VIII.16. Horario de uso de la climatización (calefacción, refrigeración) en La Universidad de Zaragoza en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

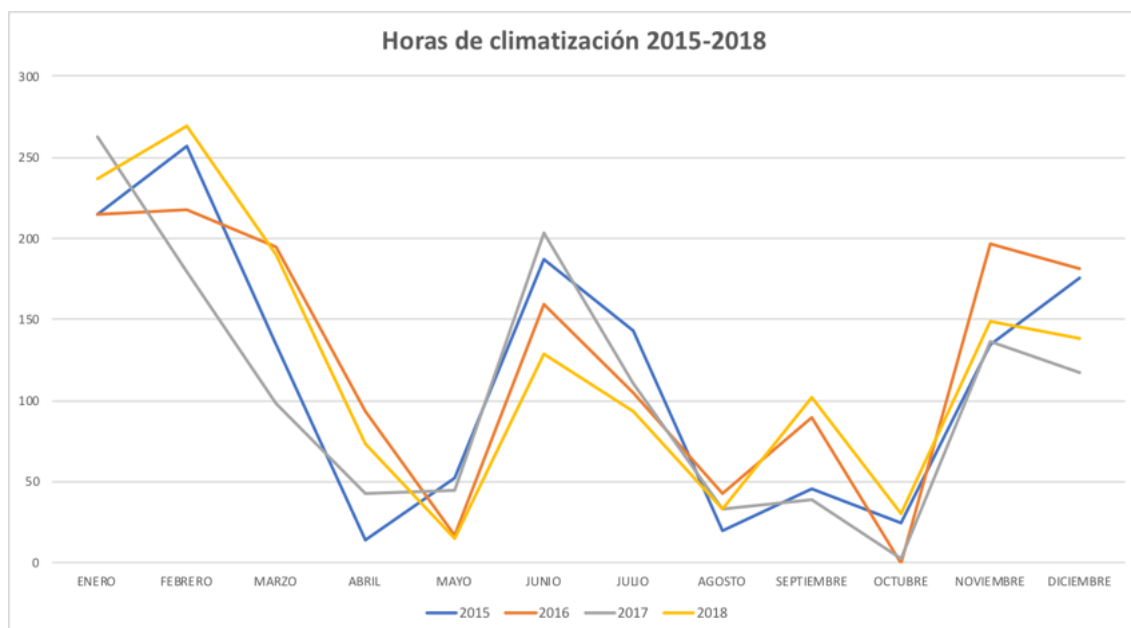


Figura VIII.15. Distribución de las horas mensuales de uso de la climatización de La Universidad de Zaragoza en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

En enero el mayor uso de los cuatro años se produce en 2017 con más de 250 horas, esto se explica porque en este mes se tuvo la menor temperatura media (6.5°C). El mes donde más horas se utiliza la climatización corresponde a febrero de 2018, ya que se tienen las temperaturas más bajas ($T_{\text{media}}=6.8^{\circ}\text{C}$). El único año donde se usó la climatización más de 200 horas en junio corresponde a 2017, ya que en este año la

temperatura media de junio superó los 25°C. En septiembre hay una diferencia de uso de más de 50 horas entre los años 2016-2018 y 2015-2017, ya que en este mes las temperaturas fueron muy variantes.

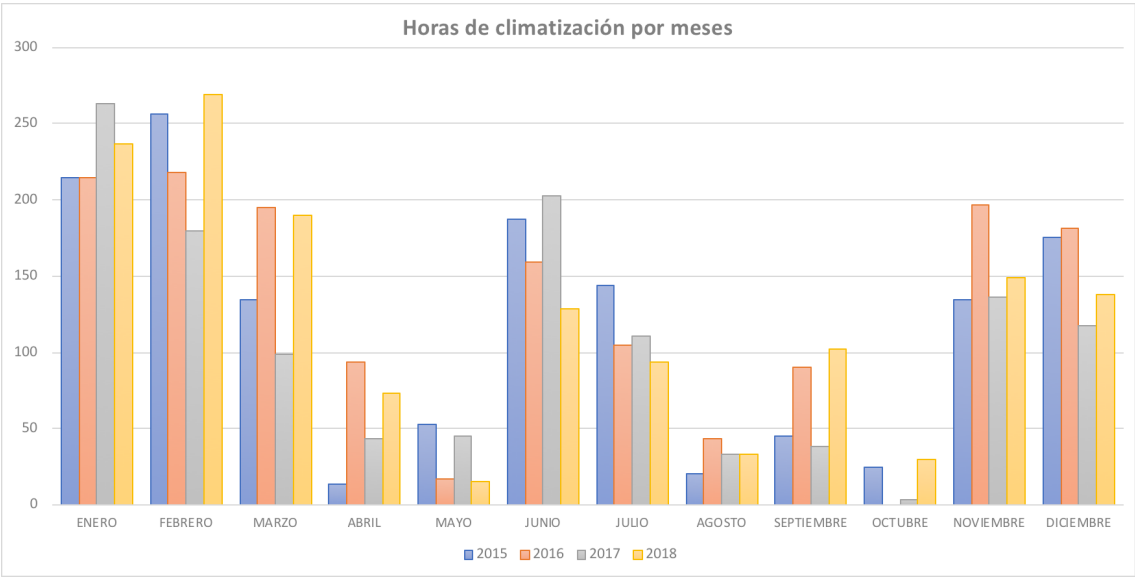


Figura VIII.16. Distribución de las horas mensuales de uso de la climatización de La Universidad de Zaragoza en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

Se observa como el uso mayoritario de las instalaciones de climatización en modo calefacción se da en los meses de enero y febrero en invierno, mientras que en verano predomina el uso del modo refrigeración en junio y julio. En agosto el uso de la climatización es mínimo ya que durante la primera quincena de este mes se produce un cierre energético.

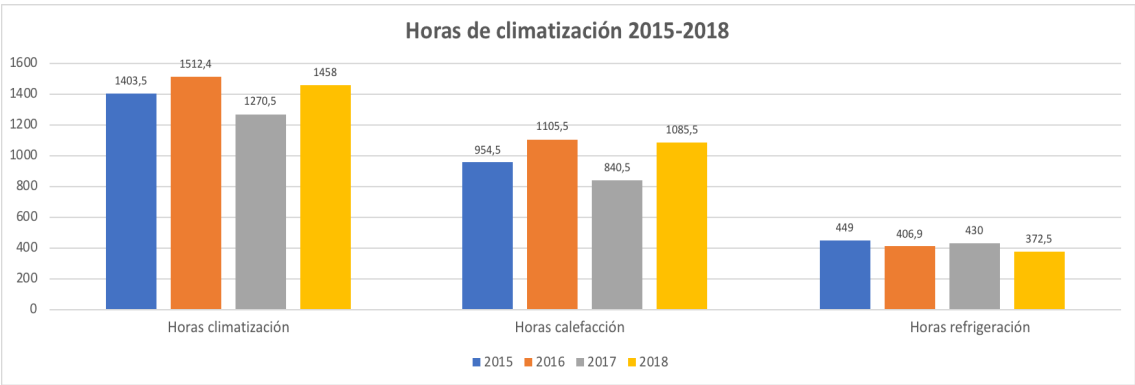


Figura VIII.17. Distribución de las horas de uso de la climatización en calefacción y refrigeración de La Universidad de Zaragoza en 2015-2018. Fuente: elaboración propia

En este gráfico se puede ver la diferencia de horas de funcionamiento de las instalaciones de climatización en modo calefacción o refrigeración. Como ya se ha expuesto en la memoria, el uso de la calefacción engloba alrededor del 70% del uso total de la climatización, produciéndose en los meses de enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre. El restante 30% corresponde al modo refrigeración durante mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

Consumo climatización Betancourt

Para calcular el porcentaje que supone el uso de la climatización en el Betancourt respecto al consumo de energía eléctrica total de este edificio se ha seguido el siguiente procedimiento.

Fecha	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Total	Climatización
1/1/16	72	91	92	91	90	93	93	97	85	62	61	60	63	60	60	61	61	68	100	99	93	94	92	95	1933	
2/1/16	92	94	93	91	91	93	92	94	76	54	55	54	54	55	54	55	54	61	95	93	94	94	93	92	1873	
3/1/16	92	92	93	92	94	91	92	93	75	57	53	52	53	53	53	56	55	61	93	93	92	91	93	93	1862	
4/1/16	92	94	93	94	92	93	99	102	90	74	77	77	75	75	69	70	70	72	100	103	93	92	83	80	2059	
5/1/16	82	84	83	86	84	83	85	92	87	73	78	75	74	73	69	68	64	64	92	90	86	81	82	82	1917	
6/1/16	83	83	83	84	84	82	84	80	71	55	53	53	54	51	53	55	54	58	82	81	422	616	624	606	3651	
7/1/16	598	594	588	583	582	611	686	718	738	764	804	792	774	775	720	706	719	686	688	631	390	290	235	236	14908	
8/1/16	227	232	116	108	107	110	197	316	715	777	703	684	653	662	639	618	620	577	600	527	294	254	211	199	10146	7775
9/1/16	208	211	119	109	107	108	127	129	209	194	188	188	182	181	183	182	183	175	188	184	208	217	218	220	4218	
10/1/16	198	188	112	103	104	103	126	123	197	185	182	179	179	156	150	151	148	151	186	187	185	189	187	187	3854	
11/1/16	198	213	111	107	103	110	200	591	708	695	702	678	674	681	658	626	638	636	643	586	331	254	228	225	10596	8223
12/1/16	220	227	118	112	112	115	205	345	776	729	719	683	679	686	660	647	658	651	653	572	326	268	236	228	10625	8113
13/1/16	223	231	118	109	110	112	210	535	768	714	707	692	694	698	649	644	657	631	642	557	303	247	229	222	10702	8309,5
14/1/16	215	223	114	105	108	111	202	392	778	703	684	710	713	716	674	662	668	617	635	556	310	279	236	226	10637	8230
15/1/16	221	227	116	108	109	111	211	337	784	727	726	727	687	660	624	607	599	561	588	527	315	286	247	239	10344	7817
16/1/16	232	238	118	109	107	109	124	134	243	451	534	516	497	475	276	202	200	199	231	227	229	236	241	242	6170	
17/1/16	231	239	112	104	106	103	122	126	240	222	211	207	198	193	197	194	190	189	220	225	226	226	230	228	4539	
18/1/16	224	230	114	104	105	107	200	502	777	740	722	713	693	712	662	648	665	619	629	606	380	292	243	236	10923	8688
19/1/16	233	238	116	110	110	113	201	533	793	721	727	722	669	664	641	627	608	588	600	590	381	289	245	238	10757	8483
20/1/16	231	236	119	108	109	111	214	624	750	740	726	707	683	663	647	639	624	590	608	604	376	290	241	234	10874	8605
21/1/16	228	232	116	108	109	111	191	558	737	706	708	696	687	686	652	624	633	596	609	617	391	279	237	231	10742	8509
22/1/16	228	236	121	111	112	113	191	555	729	715	722	702	684	700	658	621	596	553	567	572	361	275	226	225	10573	8374
23/1/16	210	223	114	107	106	105	126	127	423	531	513	507	497	470	254	172	152	157	187	190	189	216	225	226	6027	
24/1/16	211	214	114	107	107	105	130	132	217	200	189	174	167	166	161	154	150	149	178	186	188	191	193	194	3977	
25/1/16	210	220	114	106	104	106	204	595	735	694	713	713	697	702	667	640	643	603	607	605	376	255	201	219	10729	8614
26/1/16	201	225	118	109	109	111	202	577	659	642	651	644	643	658	635	635	619	585	585	590	365	246	193	216	10218	8123
27/1/16	198	221	115	107	109	111	217	590	653	643	683	678	680	668	646	640	630	574	576	575	360	246	220	221	10361	8236
28/1/16	208	223	116	106	109	114	204	583	651	647	676	683	676	675	643	618	605	577	577	570	356	278	227	222	10344	8181
29/1/16	209	222	116	107	109	109	127	220	232	222	219	214	192	167	179	185	176	150	175	185	198	220	223	226	4382	
30/1/16	207	220	113	105	106	105	128	130	203	197	194	193	188	186	183	178	170	148	170	190	200	212	223	225	4174	
31/1/16	204	197	111	106	106	105	126	131	218	205	199	191	183	181	183	186	180	177	199	215	217	219	221	218	4278	

Tabla VIII.17. Valores del perfil horario de consumo eléctrico de enero del Betancourt en 2016. Fuente: elaboración propia

En esta tabla se muestran los consumos horarios en kWh de cada día de enero, se ha marcado en naranja las horas de funcionamiento de la calefacción, teniendo en cuenta los días no laborables (navidad, fines de semana). De esta manera se tiene el consumo de las instalaciones de climatización durante el mes de enero. Se realiza el mismo procedimiento para el resto de meses.

Anexo IX: Sistemas de climatización en La Universidad de Zaragoza

En la tabla 1 se muestran los sistemas de calefacción y refrigeración de cada uno de los edificios estudiados. Cabe destacar que el único edificio de los estudiados que no dispone de sistema de refrigeración es el Torres Quevedo del campus Río Ebro. Además, todos los edificios usan calderas de gas en sus sistemas de calefacción excepto el Lorenzo Normante, Betancourt y Ada Byron, que utilizan bombas de calor hidrotérmicas.

CAMPUS RÍO EBRO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	SISTEMA DE CALEFACCIÓN	SUPERFICIE ÚTIL (m²)	AÑO CONSTRUCCIÓN
Torres Quevedo	NO	3 Calderas de Gas (2326, 2900, 1860 kW)	27.594	1986 (2010)
Lorenzo Normante	2 Bomba de Calor, sistema de Hidrotermia 792 kW	2 Bomba de Calor, sistema de hidrotermia 1040 kW	7.824	2003
Ada Byron	2 Bombas de Calor, sistema de Hidrotermia 832 kW	2 Bombas de Calor, sistema de hidrotermia 898 kW	13.447	1999
Edificio Betancourt	3 Bombas de Calor, sistema de Hidrotermia 550 kW	3 Bombas de Calor, sistema de hidrotermia 706 kW	25.818	2001
Institutos I+D+I	2 Máquina Enfriadora 682 kW por geotermia	2 Caldera Gas Natural 780 kW	11.913	2009
CAMPUS VETERINARIA	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	SISTEMA DE CALEFACCIÓN	SUPERFICIE ÚTIL (m²)	AÑO CONSTRUCCIÓN
Edificio Central	1 Enfriadora 210 kW	1 caldera 640 kW Gas Natural	5.104	1949 (1994)
Hospital Veterinaria	1 Enfriadora 546 kW	2 Caldera de Gas Natural 477 kW	6.779	2002
CAMPUS PARANINFO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	SISTEMA DE CALEFACCIÓN	SUPERFICIE ÚTIL (m²)	AÑO CONSTRUCCIÓN
Paraninfo	3 Enfriadora, sistema de Geotermia (337, 1090, 736 kW)	3 Calderas de Gas Natural 1400 kW	12.931	1895 (2009)
CAMPUS SAN FRANCISCO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	SISTEMA DE CALEFACCIÓN	SUPERFICIE ÚTIL (m²)	AÑO CONSTRUCCIÓN
Interfacultades	1 Enfriadora 274 kW	1 caldera 1120 kW Gas Natural	9.874	1973 (1995)
Facultad de Derecho	4 Enfriadora 60 kW	2 caldera 895, 1120 kW Gas Natural	7.558	1986
Facultad de Medicina	1 Enfriadora 500 kW Alquilada	1 caldera 1120 kW Gas Natural	7.263	1982
Ciencias Matemáticas	3 Enfriadora 600, 115, kW	2 caldera 895, 720 kW Gas Natural	8.054	1979
Ciencias Físicas	1 Enfriadora 90 kW	2 caldera 895 kW Gas Natural	16.398	1962 (2002)
Ciencias Geológicas	1 Enfriadora 600 kW	1 caldera 640 kW Gas Natural	8.780	1985
Ciencias de la Salud	Bombas de calor por salas	1 caldera 297 kW Gas Natural	3.916	1991
Ciencias Químicas	2 Enfriadora 692 kW	2 caldera 407 kW Gas Natural	13.985	1998
CAMPUS TERUEL	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	SISTEMA DE CALEFACCIÓN	SUPERFICIE ÚTIL (m²)	AÑO CONSTRUCCIÓN
CE Teruel	1 Enfriadora 183 kW	2 calderas gas natural (630, 335 kW)	4.466	1996
Bellas Artes	1 Enfriadora 14 kW	2 calderas gas natural 260 kW	5.733	2011
Pablo Serrano	1 Enfriadora 300 kW	2 calderas gas natural (270, 350 kW)	5.738	2010

Tabla IX.1. Sistemas de climatización de los edificios Unizar. Fuente: elaboración propia

En la tabla 2 se muestra que tipo de sistema de ventilación se lleva a cabo en cada uno de los edificios de Unizar.

REFRIGERACIÓN UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA	EDIFICIO GENERAL		PARTES DEL EDIFICIO							
	VENTILACIÓN FORZADA	SIN VENTILACIÓN	AULAS	LABORATORIOS / TALLERES	DESPACHOS	SALON DE ACTOS	SECRETARÍA	SALA ESTUDIO	CAFETERÍA	PASILLOS
CAMPUS RÍO EBRO										
1065. Torres Quevedo		X								
1112. Lorenzo Normante	parcial		NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI
1200. Ada Byron	parcial		NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	NO
1201. Edificio Betancourt	parcial		NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	NO
1209. Institutos I+D+I	parcial									
CAMPUS VETERINARIA										
1039. Aulario de Veterinaria		X								
1108. Hospital Clínico Veterinario	parcial			SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CAMPUS PARANINFO										
1032. Paraninfo	x									
CAMPUS SAN FRANCISCO										
1002. Interfacultades		X								
1003. Derecho I y II		X								
1010. Medicina Edificio A		x								
1012. Ciencias Edificio A. Matemáticas		x								
1013. Ciencias Edificio A. Físicas/Químicas		x								
1014. Ciencias. Edificio C. Geológicas		x								
1029. Facultad de Medicina. Edificio B		x								
1095. E.u. Ciencias de la Salud		x								
1110. Ciencias. Edificio D. Químicas		x								
BALANCE TOTAL con Refrigeración		6	11							
porcentaje	35%	65%								

Tabla IX.2. Sistemas de ventilación de los edificios Unizar. Fuente: elaboración propia

Anexo X: Líneas base energéticas

Se va mostrar la tabla de datos mediante la cual se han obtenido las líneas base energéticas de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

BETANCOURT												
	2015			2016			2017			2018		
Mes	Consumo (kWh)	Tmedia (°C)	GDC (°C)	Consumo (kWh)	Tmedia (°C)	GDC (°C)	Consumo (kWh)	Tmedia (°C)	GDC (°C)	Consumo (kWh)	Tmedia (°C)	GDC (°C)
ENERO	249.733,00	7,1	430,9	228.445,00	9,6	353,4	290.479,00	6,5	449,5	262.024,00	8,7	381,3
FEBRERO	267.634,00	7,1	389,2	238.307,00	9,5	322,0	210.583,00	10,0	308,0	256.502,00	6,8	397,6
MARZO	163.336,00	11,8	285,2	190.662,00	10,3	331,7	171.360,00	13,6	229,4	193.040,00	10,8	316,2
ABRIL	111.783,00	15,6	162,0	157.472,00	14,0	210,0	114.612,00	15,5	165,0	129.797,00	14,8	186
MAYO	151.855,00	20,1	57,8	134.164,00	17,9	96,1	190.807,00	20,8	50,0	132.797,00	18,3	83,7
JUNIO	216.417,00	25,2	6,1	209.538,00	23,4	14,8	241.666,00	25,7	14,2	182.649,00	23,0	12
JULIO	135.429,00	27,9	0,0	133.116,00	26,2	2,0	152.186,00	26,2	3,8	160.327,00	27,2	0
AGOSTO	93.372,00	25,5	1,8	110.830,00	26,4	0,2	100.048,00	25,8	5,7	105.195,00	26,5	0
SEPTIEMBRE	135.210,00	20,5	24,7	174.824,00	23,2	19,8	134.174,00	20,2	44,8	213.203,00	24,8	4
OCTUBRE	122.622,00	16,6	136,4	122.766,00	16,9	127,1	117.934,00	18,6	74,4	122.696,00	16,6	136,4
NOVIEMBRE	187.463,00	12,2	264,0	209.033,00	10,4	328,6	226.058,00	10,5	315,0	207.435,00	11,9	273
DICIEMBRE	164.514,00	7,6	415,4	189.338,00	6,2	458,8	199.880,00	7,0	434,0	202.281,00	8,9	375,1
Total	1.999.368,00	16,4	2173,5	2.098.495,00	16,2	2264,5	2.149.787,00	16,7	2093,8	2.167.946,00	16,5	2165,3

Tabla X.1. Tabla de consumo, Tmedia y GDC mensuales del Betancourt (2015-2018). Fuente: elaboración propia

Una vez definidos los grados día calefacción y los consumos energéticos de cada mes, se realiza la gráfica. Los datos de junio, julio, agosto y septiembre no se han tenido en cuenta ya que los grados día calefacción en esos meses eran mínimos. Se incluye una línea de tendencia a partir de los puntos y representada por una ecuación polinómica de grado 2 (2015, 2017, 2018) y por una exponencial en 2016. También se indica el grado de correlación entre el consumo y los grados día calefacción a través del parámetro R^2 . A continuación, se muestran las líneas base de los años 2015, 2016, 2017 y 2018.

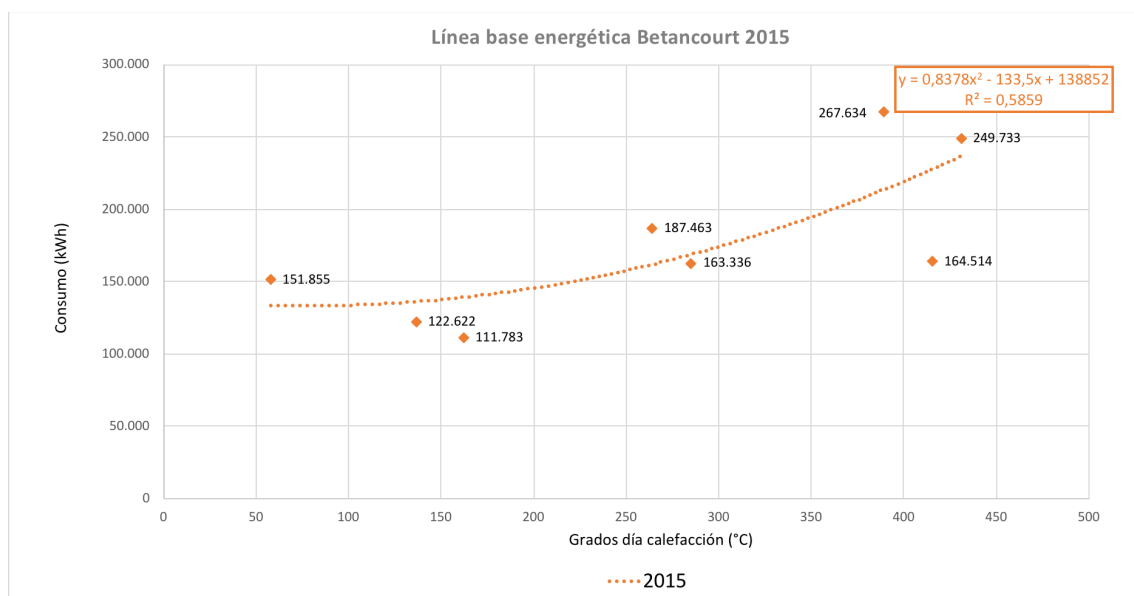


Figura X.1. Línea base energética del Betancourt en 2015. Fuente: elaboración propia

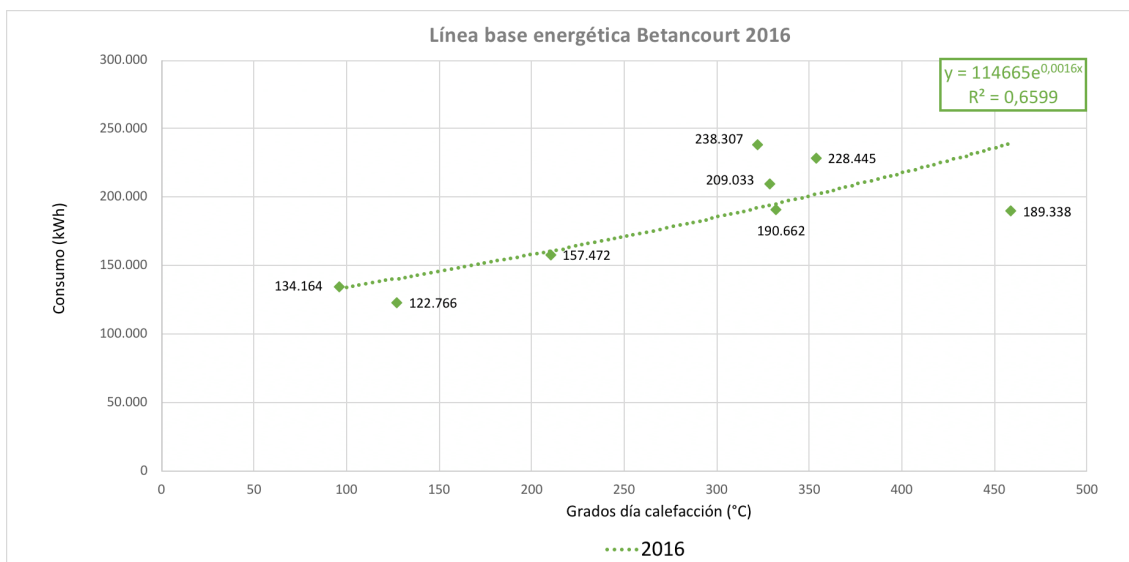


Figura X.2. Línea base energética del Betancourt en 2016. Fuente: elaboración propia

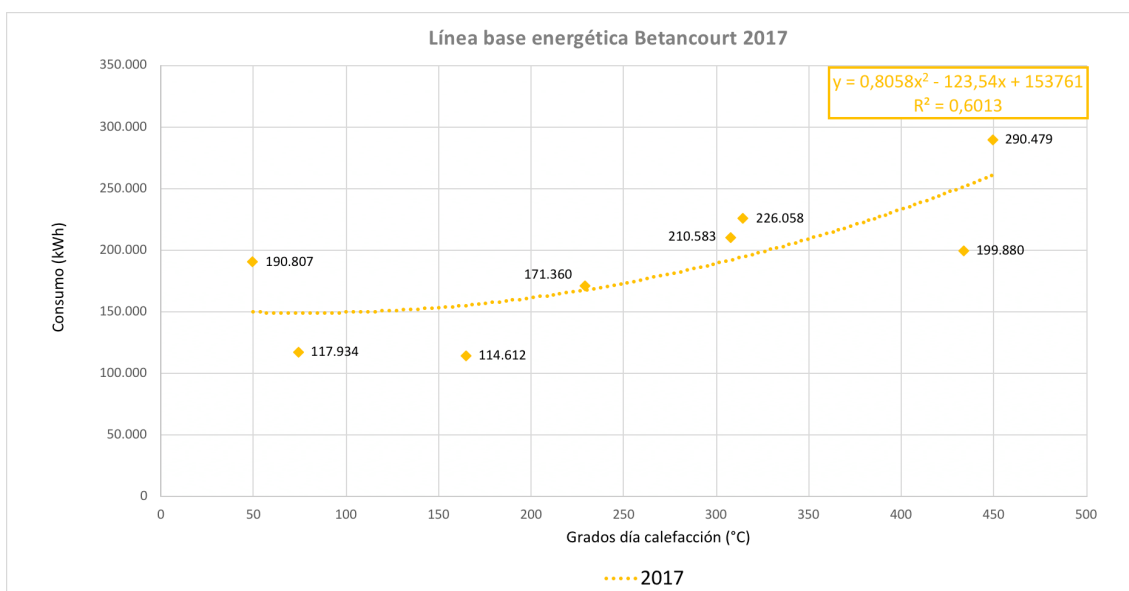


Figura X.3. Línea base energética del Betancourt en 2017. Fuente: elaboración propia

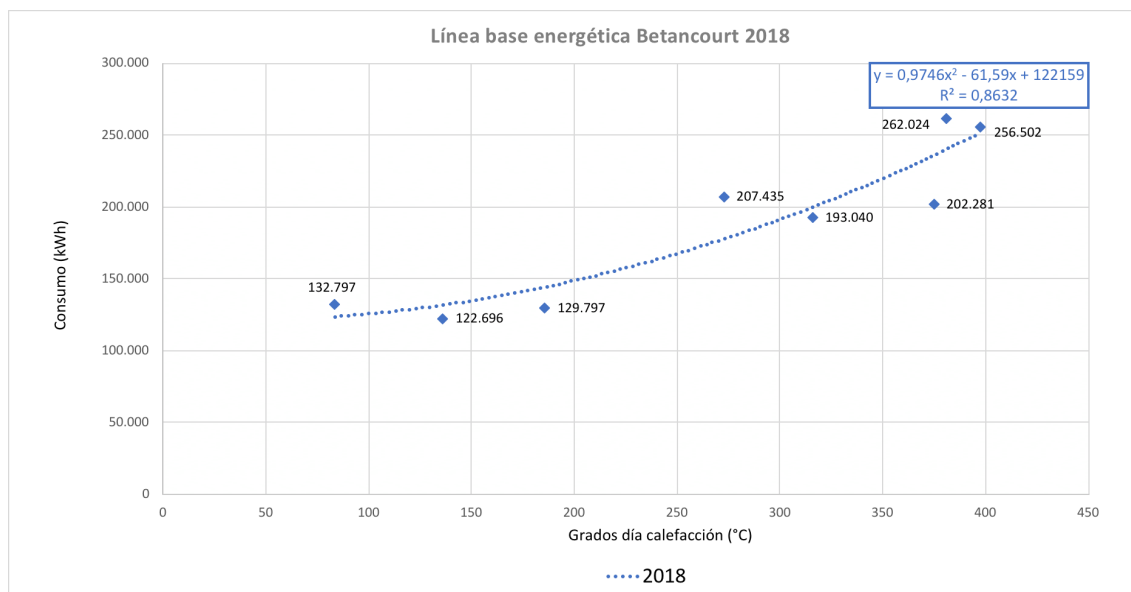


Figura X.4. Línea base energética del Betancourt en 2018. Fuente: elaboración propia

Anexo XI: Informe de satisfacción en el campus Río Ebro

La Oficina Verde llevó a cabo un estudio en el Campus Río Ebro de La Universidad de Zaragoza para conocer la opinión general de sus ocupantes sobre cuestiones relacionadas con el nivel de satisfacción que tienen en sus espacios de trabajo. Esto se realizó mediante una encuesta a los estudiantes, al personal de mantenimiento y de Administración y Servicios (PAS), y al personal de Docencia e Investigación (PDI). El objetivo era sacar conclusiones que posibiliten a la Oficina Verde mejorar la gestión, entre otros recursos, de la temperatura en los edificios de este campus universitario.

Los resultados obtenidos más destacables dependiendo del grupo encuestado son los siguientes:

- **PAS** (Personal de Administración y Servicios):

Cerca del 80% de los encuestados contestó que la temperatura de confort en invierno en sus espacios de trabajo estaba entre 21-23°C. El resto consideró adecuado el rango entre 17 y 20°C. En verano los resultados fueron más repartidos, ya que casi la mitad (43%) afirmó que su temperatura de confort era 21-23°C, mientras que más de un 30% optó por 24-26°C, seguido por el 25% restante que eligió temperaturas entre 17 y 20°C.

Por otro lado, se preguntó sobre si en determinadas zonas de los edificios se tenían temperaturas demasiado bajas o no. Los ocupantes afirmaron que las zonas más frías corresponden a los pasillos (87%), los baños (77%) y la planta calle (64%). Menos de la mitad de los encuestados opinaron que hacía frío en la cafetería, la biblioteca y la primera planta. Por el contrario, la mayoría de los usuarios opinó que las zonas menos frías son los despachos (16%), las aulas (12%), el salón de actos (10%) y los laboratorios (8%).

- **PDI** (Personal Docente e Investigador):

Respecto a la gestión ambiental que lleva a cabo la Oficina Verde, el personal docente y de investigación está de acuerdo, especialmente, con las acciones de gestión de la climatización (66%), el cuidado del medioambiente (64%) y la gestión de residuos y reciclado (87%).

Al igual que el personal de Administración y Servicios, la temperatura de confort en invierno para la mayoría del personal docente e investigador (82%) es de 21-23°C, mientras que el resto se decanta por temperaturas entre 17 y 20°C. En verano, cerca del 60% prefieren una temperatura de 24-26°C, seguido de un 35% que optan por 21-23°C, es decir, más de un 90% prefiere una temperatura de confort superior a los 21°C.

Las zonas mas frías, según los encuestados, corresponden a la planta calle (50%) y los baños (47%), mientras que la sala de estudio (6%) y la biblioteca (3%) mantienen una temperatura de confort adecuada.

- **ESTUDIANTES**

Los estudiantes encuestados respondieron que los aspectos más destacados respecto a la gestión ambiental son la gestión de residuos y reciclado (74%), el cuidado del medio ambiente (64%) y la gestión de la climatización (53%).

En la misma línea que el personal de Administración y Servicios (PAS) y de Docencia e Investigación (PDI), más de un 60% opinó que la temperatura de confort en invierno en todos los edificios del Campus Río Ebro es de 21-23°C, excepto en el Ada Byron donde la mayoría (68%) se decantó por un rango de 17-20°C. En los meses de verano, analizando por edificios, la temperatura de confort adecuada se sitúa entre 17 y 20°C, con un promedio superior a 64%, seguido de un 31% que se decantó por 21-23°C. La minoría restante prefería una temperatura entre 24 y 26°C.

Los estudiantes determinaron que las zonas con temperaturas más bajas son la planta calle (63%), los pasillos (53%), los baños (49%), la sala de estudio (38%) y las aulas (34%). Al contrario, la cafetería (10%) y los despachos (2%) son zonas con temperaturas más agradables.

Analizando por edificios, en el Ada Byron más de un 30% opina que hay una temperatura agradable en todo el edificio, seguido de la zona de baños (10%) y la planta calle (10%). En el Betancourt destacan los baños como zona más fría (25%), además de las aulas (16%) y la planta calle (12%). En el Lorenzo Normante las temperaturas más bajas se dan en la planta calle, los baños, las aulas, la sala de estudio y el salón de actos, todas estas zonas con porcentajes entre 10-15%. Por último, en el Torres Quevedo las zonas más frías corresponden a la planta calle (15%) y los pasillos (13%).

Anexo XII: Condiciones exteriores, interiores y perfil de ocupación del edificio Betancourt

Localización y descripción

El edificio Agustín Betancourt forma parte del campus Río Ebro y es uno de los edificios que acoge la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza (EINA). En el siguiente plano vemos como este edificio está situado en la zona noreste del campus. Comparte espacio con el Centro Politécnico Superior (CPS), edificios Ada Byron y Torres Quevedo, y la Facultad de Economía y Empresa (Lorenzo Normante).

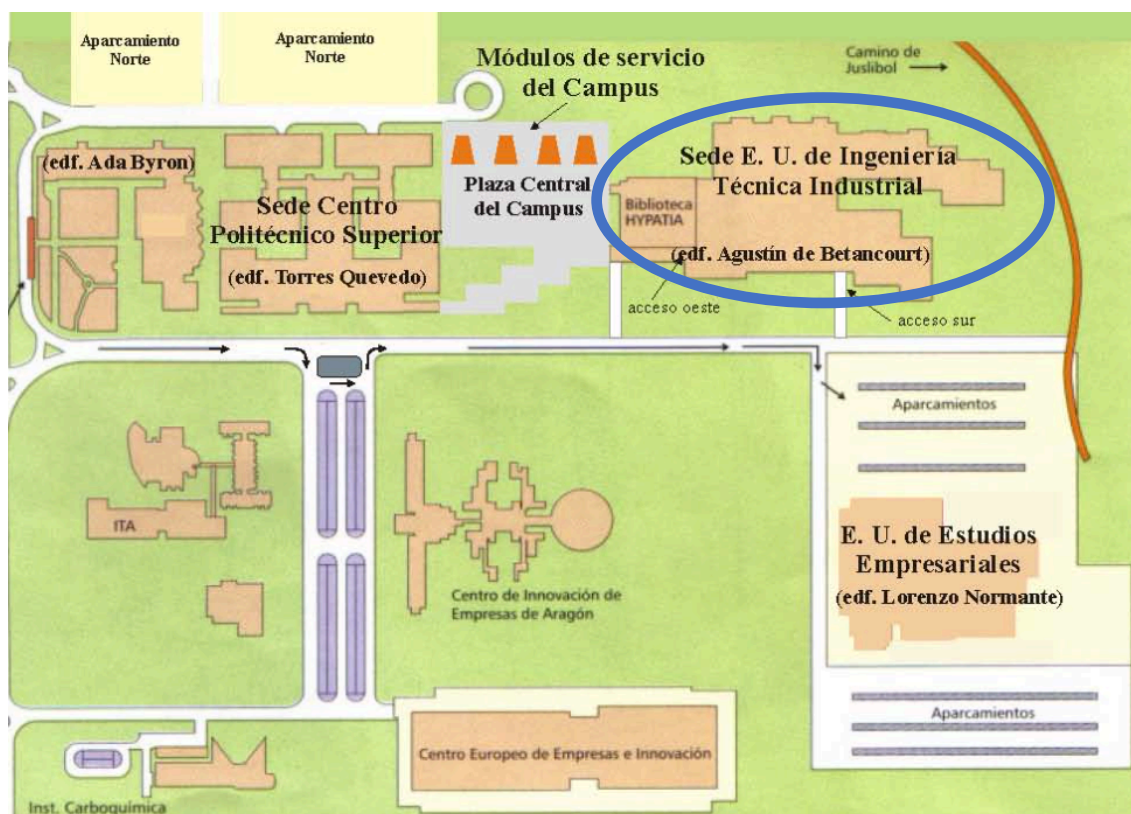


Figura XII.1. Plano campus Río Ebro. Fuente: euitiz.unizar.es

El edificio Betancourt, finalizado en el año 1998, tiene una superficie total de 27.000 m² y está rodeado por 15.000 m² de zonas verdes. Cuenta con 4 plantas, incluida la baja, en las que se lleva a cabo la docencia de los cursos 2º, 3º y 4º de la mayoría de los grados y masters que se imparten en la EINA.

El edificio se distribuye de la siguiente manera: 14.000 m² en la sede y el aulario de la EUITIZ (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza), conserjería, comedor, salón de actos y Departamento de Economía y Administración de Empresas; 4.000 m² para la Biblioteca Hypatia de Alejandría; 4.800 m² asignados al Departamento de Ingeniería Mecánica; y 4.800 m² que corresponden al servicio de mantenimiento del campus, al servicio de informática y comunicaciones de la Universidad de Zaragoza, talleres y laboratorios de los departamentos [60].



Figura XII.2. Edificio Agustín de Betancourt. Fuente: eina.unizar.es

Usos por plantas

En un estudio realizado en 2017 [61] se analizaron los distintos usos por planta que tiene el edificio Betancourt. Se diferenciaron varias categorías:

- Espacios dedicados a la docencia:
 - Despachos: superficie de despachos individuales y despachos de departamentos.
 - Aulas teóricas
 - Laboratorios
- Espacios dedicados al alumno:
 - Estudio: superficie donde el alumno realiza actividades académicas.
 - Ocio: superficie donde el alumno puede realizar actividades no académicas (comer, tomar algo, charlar...).
- Espacios comunes:
 - Servicios comunitarios: espacios de interés o uso general como administración (dirección, secretaría) y servicios (reprografía, aseos).
 - Comunicaciones verticales: superficie de los núcleos de comunicación verticales entre plantas (escaleras, ascensores).
 - Comunicaciones horizontales: superficie entre los diferentes espacios con los que cuenta el edificio.
- Instalaciones: superficie de maquinaria de instalaciones y mantenimiento.

Entre las conclusiones que se extrajeron destaca el uso mayoritario de los espacios de las plantas dedicado a comunicaciones (exceso de pasillos y zonas neutras) y a docencia.

El espacio dedicado a los alumnos es insuficiente ya que estos solo cuentan con la sala de estudios y la biblioteca.

Tipo de usuarios

Dentro de este edificio es necesario analizar que tipo de actividades realizan los ocupantes y sus necesidades. Los usuarios se dividen en los siguientes grupos [61]:

- Alumnos: engloba los alumnos de primer curso, del resto de cursos, de Erasmus, de Máster y Egresados.
- Asociaciones culturales: ambiente educativo (ECAZ, EUZII), ambiente hacia la empresa (In Forum), internacional, deporte y ocio, además de la Delegación de Alumnos.
- PDI: engloba un total de 650 profesores e investigadores de los 32 estudios de la escuela (Grados, Masters...).
- PAS: compone el personal de Administración y Servicios, de mantenimiento y conservación del mobiliario.

Cerramientos exteriores

La envolvente del edificio Betancourt está formada los siguientes cerramientos exteriores y forjados:

- Muro de hormigón: cerramiento más abundante en todo el edificio, la mayoría de ellos están en posición vertical.
- Muro sándwich: cerramiento vertical que recoge casi la totalidad de cerramientos verticales exteriores del edificio, junto con los de hormigón.
- Forjado entreplantas: cerramiento horizontal que se sitúa en las separaciones entre las distintas plantas del edificio.
- Solera: cerramiento horizontal, se encuentra en los forjados que están en contacto con el terreno, por lo tanto, se situarán en las plantas más bajas del edificio.
- Cubierta: cerramiento horizontal situado en las zonas más elevadas de los espacios en contacto con el exterior.

SeñaliZAR

SeñaliZAR es una iniciativa basada en un ecosistema digital con el objetivo de alcanzar los ODS mediante el uso eficiente de la innovación tecnológica y las señales inteligentes.

Conocer los perfiles de ocupación de los usuarios y su comportamiento en este tipo de edificios educativos y evaluar de manera sistemática su influencia en el uso y consumo de energía es una tarea complicada. Con esta iniciativa se busca conseguir un ahorro de costes desde la eficiencia energética y la gestión automatizada y sostenible a través de señales inteligentes con sensores de bajo consumo y tecnologías inalámbricas.

SeñaliZAR ofrece una serie de servicios como:

- Monitorización en tiempo real de la ocupación de espacios: aulas, despachos, laboratorios, hall, pasillos, cafetería, biblioteca, etc.
- Monitorización en tiempo real de la eficiencia y consumo energético: basándose en indicadores de iluminación, temperatura, humedad, presencia, etc.
- Monitorización en tiempo real de la trazabilidad del tránsito: identificación de flujos de movilidad e itinerancia de los ocupantes.
- Interactuación directa y en tiempo real con la experiencia del usuario: niveles de satisfacción.